This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

19941

HN 5J97 .

KF
19941

KF
19941

NOTIONS

DE

MINÉRALOGIE

PAR

A. F. RENARD
Professeur à l'Université de l'État à Gand

ET

F. STÖBER
Chargé de cours à la même Université

AVEC 732 FIGURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE

GAND
LIBRAIRIE GÉNÉRALE DE AD. HOSTE, ÉDITEUR
Rue des Champs, 47

1900

KF19941

HARVARD
UNIVERSITY
LIBRARY
51 * 28

PRÉFACE.

Le but principal que nous nous sommes proposé est d'exposer l'état des connaissances sur le règne minéral, en les mettant à la portée des élèves de la candidature en sciences naturelles. C'est pour eux que cet ouvrage fut d'abord écrit; le cadre en fut ensuite élargi pour qu'il pût servir aux élèves des Écoles spéciales annexées à l'Université de Gand (1). Les développements ajoutés pour ce dernier groupe d'élèves sont imprimés en caractères plus petits, ils sont complétés par les exercices pratiques.

Quoique ce livre soit spécialement destiné aux jeunes gens qui suivent les cours universitaires dont il s'agit, il intéressera, croyons-nous, tous ceux qui s'occupent d'études se rattachant aux sciences minérales : en particulier les géologues auxquels il peut servir comme de préface à la lithologie, et les chimistes pour lesquels la cristallographie géométrique et physique prend une importance chaque jour croissante; mais nous nous hâtons d'ajouter que notre ouvrage n'a pas la prétention de remplacer les grands traités de minéralogie. Ce n'est pas non plus une œuvre d'érudition que nous avons voulu faire; ce sont des *notions* auxquelles on s'est efforcé de donner un caractère didactique et une forme élémentaire, tout en leur conservant l'exactitude et la rigueur scientifiques.

Nous avons adopté la notation de MILLER-BRAVAIS, qui est presque

(1) Les élèves de la candidature en sciences naturelles suivent un cours de notions élémentaires de minéralogie d'une heure par semaine, durant l'année académique entière; le cours suivi par les élèves-ingénieurs des constructions civiles (grade légal) et les élèves ingénieurs-chimistes, comprend une heure et demie d'enseignement théorique et une heure et demie d'exercices pratiques par semaine, pendant un semestre.

exclusivement employée aujourd'hui; et convaincus des grands avantages que présentent pour l'enseignement les projections stéréographiques, nous en avons fait un large usage, et nous sommes entrés dans quelques détails au sujet de la construction de ces figures. En raison des progrès récents de la lithologie, et de l'application du microscope aux recherches chimiques, on a développé plus qu'on ne le fait d'habitude dans les ouvrages élémentaires, le chapitre des propriétés optiques. Les instruments qui servent aujourd'hui à l'étude de ces propriétés sont décrits et figurés, et nous donnons en même temps quelques indications pratiques relatives à leur emploi. Un chapitre spécial est consacré aux réactions microchimiques à cristaux. Enfin une notice historique placée en tête de l'ouvrage, retrace à grands traits les progrès de la minéralogie; un exposé analogue publié par M. Fletcher dans son *Introduction to the Study of Minerals*, nous a servi de modèle.

La partie systématique comprend la description des espèces minérales les plus importantes au point de vue de leur intérêt scientifique, de leur rôle dans la nature, de leur utilité dans les arts et dans l'industrie. Leurs applications pratiques sont brièvement indiquées, et l'ouvrage se termine par une liste des minéraux qu'on rencontre en Belgique avec l'indication de leurs principaux gisements.

Nous exprimons, en terminant, toute notre reconnaissance à M. Fuess qui a bien voulu mettre à notre disposition les clichés des appareils représentés dans la première partie.

LES AUTEURS.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Coup d'œil sur l'histoire de la Minéralogie 1

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES MINÉRAUX.

Introduction.

Définition de la Minéralogie 17
Division de la Minéralogie 17
Cristaux 18
Substances cristallines 18
Substances amorphes. 19

Propriétés géométriques des cristaux.

Loi de la constance des angles 20
Goniomètre. 20
Parallélisme des faces 24
Symétrie 24
Degrés de symétrie, systèmes cristallins. 25
Mériédrie 26
Formes simples 31
Combinaisons 32
Modifications 33
Déformations des cristaux 34
Axes et paramètres 34
Choix des axes. 36
Loi des paramètres — Rapport des axes. 38
Types de faces. 40
Notation. 41
Zones. 43
Lois des Zones. 45
Projection stéréographique 47

Systèmes cristallins.

Système cubique 50
Système hexagonal 63
Système tétragonal 80
Système rhombique 88
Système monoclinique 93
Système triclinique 97
Cristaux maclés 100
Mimésie. 105

Propriétés physiques des cristaux.

Densité et propriétés mécaniques.

Pages.
Densité 108
Cohésion 109
Cassure 111
Dureté 111
Elasticité 112

Propriétés optiques des cristaux.

Réflexion 113
Eclat. 113
Couleur 114
Transparence 114
Réfraction simple 115
Détermination de l'indice de réfraction 115
Réflexion totale 116
Double réfraction — Signe optique 117
Dispersion 119
Absorption 120
Principe d'Huyghens. — Rayon lumineux. — Lumière naturelle et polarisée. 120
Tourmaline — Nicol — Pile de glace. 121
Superposition de deux Nicols 122
Microscope polarisant à lumière parallèle 123
Détermination de la biréfringence. 125
Directions d'extinction 126
Interférence 127
Couleurs de polarisation. 128
Figures d'interférence en lumière convergente 131
Dispersion des axes 134
Mesure de l'angle des axes optiques — Appareils d'axes. 140
Orientation optique 143
Détermination du signe optique 145
Indices de réfraction principaux 147
Ellipsoïdes d'élasticité optique — Surfaces de l'onde. 147
Polarisation rotatoire 151
Pléochroïsme 153
Cristaux maclés 155
Anomalies optiques 156
Fluorescence et Phosphorescence 157
Action des Rayons X sur les minéraux 158

Propriétés thermiques.

Rayonnement calorifique 159
Conductibilité calorifique 159
Dilatation des cristaux 159

Propriétés électriques.

Conductibilité électrique 160
Thermoélectricité. 161
Pyroélectricité. 161

Propriétés magnétiques 162

Propriétés chimiques des minéraux.

Pages.
Composition et Formules 164
Dimorphisme 165
Isomorphisme 165
Isodimorphisme 169
Analyse des minéraux 170
Détermination des minéraux par les réactions microchimiques 173
Figures de corrosion 179
Pseudomorphoses 183

Mode de formation des minéraux, associations, gisements . 184

Modes de formation des minéraux dans la nature 185
Synthèse des minéraux 187

CLASSIFICATION ET DESCRIPTION DES ESPÈCES MINÉRALES.

Classification 191
Abréviations 192

Ie CLASSE. — **Éléments** 193

IIe CLASSE. — **Combinaisons du Soufre, du Sélénium, du Tellure, de l'Arsenic, de l'Antimoine et du Bismuth** . . . 202

GROUPE A. — Sulfures des Métalloïdes. 202
GROUPE B. — Sulfures des Métaux 205
GROUPE C. — Sulfosels 216

IIIe CLASSE. — **Combinaisons de l'oxygène**. . . . 222

GROUPE A. — Oxydes anhydres 222
GROUPE B. — Hydroxydes 237

IVe CLASSE. — **Sels haloïdes**. 241

GROUPE A. — Sels haloïdes simples 241
GROUPE B. — Sels haloïdes doubles 244
GROUPE C. — Oxychlorures et Oxyfluorures 246

Ve CLASSE. — **Nitrates, Iodates, Carbonates, Sélénites, Manganites, Plombates** 246

GROUPE A. — Nitrates, Iodates 246
GROUPE B. — Carbonates 247
GROUPES C et D. — Sélénites, Manganites et Plombates 262

VIe CLASSE. — **Sulfates, Chromates, Molybdates, Wolframates, Uranates** 263

GROUPE A. — Sulfates, etc. anhydres 263
GROUPE B. — Sulfates, etc. hydratés. 270

Pages.

VIIe CLASSE. — **Borates, Aluminates, Ferrites, Arsenites, Antimonites** 275

GROUPE A. — Borates, etc. anhydres 275
GROUPE B. — Borates, etc. hydratés. 279

VIIIe CLASSE. — **Phosphates, Arséniates, Antimoniates, Niobates, Tantalates** 281

GROUPE A. — Phosphates, etc. anhydres 281
GROUPE B. — Phosphates, etc. hydratés 285

IXe CLASSE. — **Silicates, Titanates, Zirconinates, Thorates, Stannates** 288

GROUPE A. — Silicates basiques 289
GROUPE B. — Orthosilicates 302
GROUPE C. — Silicates intermédiaires 318
GROUPE D. — Métasilicates 321
GROUPE E. — Polysilicates 334
GROUPE F. — Silicates hydratés 346

Xe CLASSE. — **Combinaisons organiques** 353

GROUPE A. — Sels des acides organiques 353
GROUPE B. — Hydrocarbures 353
GROUPE C. — Résines 355
GROUPE D. — Bitumes 355
GROUPE E. — Charbons 356

Liste alphabétique des minéraux signalés en Belgique 359
Table alphabétique des espèces minérales. 367

ERRATA.

Page 39	*ligne* 10	*en descendant* :	*Lisez* :	$OA_2 = \frac{1}{2} a$, $OC_2 = -\frac{1}{2} c$.	
» 39	» 11	» »	»	$a : 2b : \bar{c}$ *au lieu de*	$2a : b : \overline{2c}$.
» 42	» 9	» »	»	$r_t = a : 2b : \bar{c}$; $r_{,,} =$	$a : \overline{2b} : \bar{c}$.
» 48	» 7	*en remontant* :	»	59	*au lieu de* 61
» 73,	» 4	*en descendant* :	»	$\{hi\bar{k}o\}$	» » » $\{hiko\}$
» »	» 11	*en remontant* :	»	$\{hi\bar{k}l\}$	» » » $\{hikl\}$
» »	» 9	» »	»	négative $\pi \{ki\bar{h}l\}$	» » » positive $\pi \{hi\bar{k}l\}$
» »	» 7	» »	»	positive $\pi \{hi\bar{k}l\}$	» » » négative $\pi \{ki\bar{h}l\}$
» »	» 3	» »	»	pointillées	» » » pleines
» »	» 2	» »	»	pleines	» » » pointillées
» 80	» 8	*en descendant* :	»	de $S = \varkappa\pi \{\bar{1}. 14. 1\bar{3}. 6\}$	» » » des $= \varkappa\pi \{18\bar{7}6\}$
» 111	» 18	*en remontant* :	»	Corindon	» » » Corindno
» 245	» 20	*en descendant* :	»	λίθος	» » » λίος

Figure 270 : *Lisez* n *et* n̲ *au lieu de* l *et* l̲.

COUP D'ŒIL

SUR

L'HISTOIRE DE LA MINÉRALOGIE.

Les progrès de la minéralogie sont le résultat de divers modes d'investigation appliqués à l'étude du monde inorganique. Dès le début de la phase scientifique de cette branche de nos connaissances se manifestent trois tendances, nettement caractérisées chacune par leurs méthodes propres de recherche. L'une d'elles poursuit l'étude des *caractères géométriques* et *physiques* des minéraux, qu'elle établit avec le concours des sciences mathématiques. L'autre s'attache à la description des espèces par la méthode propre de l'histoire naturelle comme on la comprenait autrefois, et qui consiste surtout à faire connaître les *caractères externes* tombant directement sous les sens et qu'on peut déterminer presque sans le secours d'appareils. Une autre enfin s'attache spécialement à faire connaître les *caractères chimiques*. C'est par l'action tantôt isolée, tantôt combinée de ces divers modes d'étude que fut édifiée cette science qui comprend dans sa sphère tout un règne de la nature.

Le coup d'œil que nous allons jeter sur l'histoire de la minéralogie nous permettra d'apprécier l'influence qu'exercèrent les chefs des diverses écoles dont on vient de caractériser les tendances. Nous ne nous attarderons pas à relever les erreurs qui ont entravé les progrès, nous ne nous attacherons pas à l'examen critique des idées spéculatives qui, durant de longs siècles, ont prévalu sur les méthodes scientifiques vraies, nous ferons plutôt ressortir les découvertes saillantes, nous n'enregistrerons que les grands faits de l'histoire de la minéralogie.

La minéralogie, envisagée comme science, n'a pas de lointaines origines;

elle dut nécessairement attendre pour prendre son essor que les sciences physico-chimiques fussent assez avancées pour lui prêter leur appui. C'est vers le milieu du XVIIe siècle qu'on peut placer ses débuts, et c'est dans la dernière moitié du XVIIIe que ses lois fondamentales furent découvertes. Nous n'avons donc pas à nous arrêter à exposer les notions plus ou moins exactes que laissent entrevoir les écrits des anciens : ce qui contribua, bien plus que leurs théories sur l'origine et les vertus des minéraux, à pousser la science dans sa vraie voie, ce sont les observations des mineurs qui, pour être toutes pratiques, n'en ont pas moins aidé dans une large mesure à fixer l'attention sur le monde minéral, sur la nature des espèces, sur leurs associations et leur répartition. Il n'est pas même jusqu'au nom de notre science qui ne rappelle cette origine modeste : le mot minéralogie en effet vient de *mina* (filon exploité), et c'est dans l'ouvrage célèbre d'AGRICOLA (1494-1555) *De natura fossilium*, 1546, où sont renseignées toutes les connaissances acquises jusqu'à cette époque par l'exploitation minière de la Saxe, qu'on trouve exprimé, mieux qu'on ne l'avait jamais fait, un ensemble d'indications sur la forme externe, le clivage, la dureté, le poids et l'éclat des minéraux. Dès lors l'élan était donné à la minéralogie descriptive.

C'est plus d'un siècle après les travaux d'AGRICOLA que vient se placer une des premières et des plus importantes découvertes en cristallographie physique; elle est due au médecin danois ÉRASME BARTHOLIN (1625-1698). Dans son ouvrage *Experimenta crystalli disdiaclastici islandici*, 1670, il signale la double réfraction du spath calcaire, reconnait le solide de clivage de ce minéral, détermine la valeur des angles plans de la face du rhomboèdre, et par le calcul trouve comme angle des arêtes culminantes 103°40′. Il montre en outre que le spath devient électrique par le frottement et qu'il fait effervescence aux acides. Dès 1661, BARTHOLIN avait publié son travail *De figura nivis*, dans lequel il défendait l'idée de DESCARTES d'après laquelle les cristaux étoilés de neige sont formés par six bulles d'eau congelée, disposées symétriquement par rapport à une bulle centrale.

Bientôt après CHR. HUYGENS (1629-1695) étudie la marche des rayons réfractés dans la calcite et découvre la construction géométrique déterminant leur trajectoire pour une incidence donnée. Il trouve que l'angle du rhomboèdre de la calcite est de 105°, et il cherche à donner une interprétation du clivage en s'appuyant sur la structure moléculaire des cristaux. ROBERT BOYLE (1627-1691), s'attachant à déterminer la densité des espèces minérales, arrive par ces recherches à une conclusion importante au sujet de la nature du quartz. Par des pesées dans l'air et dans l'eau, il montre que la densité de ce minéral est de 2 2/3, et ce résultat ébranle d'une manière définitive l'idée enracinée depuis l'antiquité que le cristal de roche (κρύσταλλος des anciens, eau congelée) n'était autre chose que de l'eau congelée qui avait été soumise à un froid long et excessif : car, fait-il observer, le cristal de roche ne peut être de la glace, celle-ci étant plus légère

que l'eau, et ce minéral se trouve à Madagascar et dans d'autres régions de la zone torride.

C'est sur ce minéral, qu'on considérait comme le *cristal* par excellence, que vont porter les investigations du savant danois N. Steno (1638-1687). Ce grand naturaliste, auquel on doit des observations capitales sur les phénomènes géologiques, qui en font un des fondateurs de cette science, ne s'illustra pas moins par ses découvertes en minéralogie. Dans ses études sur le cristal de roche, Steno décrit les combinaisons ordinaires de ce minéral cristallisé en pyramide hexagonale avec ou sans les faces prismatiques. Ses recherches sont consignées dans son livre célèbre *De solido intra solidum contento dissertatio prodromus* (1669). A l'aide de sections taillées perpendiculairement et parallèlement aux faces des prismes hexagonaux, il fit voir que les angles formés par les faces du prisme et celles de la pyramide restent constants malgré des variations que peut subir la dimension des faces considérées. Il montra que le cristal s'accroît par couches superposées, que c'est surtout sur les faces des pyramides que se fait le dépôt de la couche cristalline, il observa que les faces prismatiques sont striées parallèlement à leurs arêtes de combinaison avec la pyramide. Steno reconnaît que cette superposition de matière cristalline sur le noyau a une épaisseur qui reste la même pour toute la surface d'une même facette, mais que cette addition de matière ne se fait pas d'une manière uniforme sur toutes les faces du cristal. Il peut arriver ainsi que l'axe de la pyramide ne coïncide pas avec celui du prisme, comme il peut se faire aussi que certaines faces de la pyramide soient inégales entre elles, que la forme des triangles et des rectangles soit souvent modifiée et qu'il s'ajoute plus d'angles solides que la forme cristalline normale ne le réclame. Ce savant établit donc pour le quartz une loi fondamentale de la cristallographie qui sera généralisée plus tard : il prouve que, malgré toutes les variations dans la dimension et la forme des facettes, les angles dièdres restent constants pour ce minéral.

Les creux et les aspérités des faces du cristal de roche, leur disposition en gradins, les inclusions de gaz et de liquides, les différences dans la transparence reçoivent de Steno une interprétation rationnelle, et sont rapportées aux causes qui président à la formation même du minéral cristallisé. Ni le refroidissement, dit-il, ni l'action du feu ne peuvent être invoqués comme cause de la formation des cristaux de quartz; ils n'ont pas été créés au commencement des choses, mais ils pourraient encore se former aujourd'hui, et comme ils ont été cristallisé d'un fluide, il suffirait qu'on connût ce fluide pour pouvoir les dissoudre à nouveau. Ce dissolvant était pour le quartz ce que l'eau-mère est pour les sels qui s'y déposent, et Steno interprète les cristaux constitués par des couches incolores et des couches d'améthyste comme étant formés de la même manière que des cristaux d'alun à couches diversement colorées.

Telles sont quelques-unes des conclusions auxquelles l'étude des cristaux

de quartz avait conduit STENO. Aucune d'entre elles ne fut ébranlée dans la suite; elles servirent de point de départ aux conclusions plus générales qui furent développées un siècle plus tard; on peut dire que l'ensemble de ses observations sur la cristallisation du quartz offre une importance capitale et dépasse en portée toutes celles qu'on avait faites avant lui sur les minéraux cristallisés.

Près de vingt ans après l'apparition de la dissertation de STENO, D. GULIELMI (1 655-1710) publiait en 1688, sur la forme cristalline des sels artificiels, des considérations analogues à celles émises par le savant danois sur le cristal de roche. Il envisage les cristaux comme composés d'un agrégat de particules infinitésimales indivisibles, qui ont une forme cristalline semblable à celle du cristal qu'elles constituent. C'est en quelque sorte le germe de la théorie d'HAÜY, qui deviendra la base de la cristallographie rationnelle. GULIELMI admet que chaque sel possède sa forme déterminée et invariable, que le salpêtre n'affecte jamais la forme de l'octaèdre ni celle du cube, que l'alun ne cristallise jamais en parallélipipèdes ni en prismes, etc. Il reconnaît donc une forme cristalline propre pour chacun de ces corps. Il est vrai qu'il ne tient pas exactement compte des formes secondaires, sinon il aurait reconnu comment les faces du cube et de l'octaèdre peuvent s'observer à l'alun et au sel gemme comme faces de combinaison; mais la notion de la forme géométrique caractéristique avec angles constants revêtue par l'espèce minérale ressort déjà de ces études.

Les observations sur les cristaux artificiels, qui firent surtout l'objet des recherches de GULIELMI, avaient donc mis en évidence que des substances dissoutes peuvent cristalliser en reprenant la forme solide, et que les minéraux cristallisés s'étaient, de même, formés par dépôt d'une solution. On arriva ainsi à admettre comme une loi générale de la nature que les particules d'une substance, rendues mobiles par la liquéfaction, peuvent s'orienter, et que, lorsque le fluide qui les a dissoutes disparaît, elles se groupent en édifices réguliers, en solides terminés par des faces planes. On avait reconnu que la forme de ces solides dépend de la nature de la substance, mais on constatait en même temps que cette dépendance ne se traduisait pas toujours par des cristaux de forme identique, que bien souvent, au contraire, une même substance offrait des cristaux dont les formes étaient différentes d'aspect, dont les facettes n'étaient plus les mêmes ni pour le nombre ni pour la position. Nous verrons bientôt l'interprétation qu'on sut donner de ces apparentes anomalies.

Ces travaux, comme ceux de LINNÉ, dont nous allons parler, se rattachent à la tendance cristallographique. Quoique les considérations géométriques soient encore très élémentaires, on peut dire cependant que c'est aux méthodes mathématiques que s'arrêtaient surtout les savants de cette époque se livrant à l'étude des minéraux. LINNÉ (1707-1778), qui avait divisé le monde inorganique en *Petrae* (roches), *Minerae* (minéraux), *Fossilia* (fossiles), fut conduit à prendre la forme cristalline comme base

d'une classification du règne minéral. Frappé par la similitude des formes qu'affectent certains minéraux, et envisageant les sels comme les générateurs de la cristallisation, il admit que l'union de tel sel avec telle espèce de pierre donnait à celle-ci la propriété de cristalliser sous la forme particulière au sel, qui était pour lui comme le principe fécondant des cristaux. C'est ainsi que LINNÉ considérait le diamant comme une espèce d'alun, parce qu'il cristallisait comme ce sel, et dans sa nomenclature il était désigné comme *Alumen adamas*, alundiamant. Au fond, l'idée de LINNÉ est empruntée au règne organique; il transportait au règne minéral le système sexuel dont il avait tiré un parti si ingénieux pour la botanique. Ce que nous venons de dire de son système minéralogique montre à l'évidence qu'il ne repose sur rien de fondé. Mais, quoi qu'il en soit, on doit admirer l'activité de ce grand naturaliste, qui s'est efforcé de classer et de grouper les faits du monde minéral, si éloigné du monde organique dans l'étude duquel il s'était surtout illustré.

Il était impossible du reste, à cette époque, qu'on établît un système des minéraux : on ne connaissait qu'un nombre très restreint d'espèces, et leur composition n'était pas devoilée, car la chimie, qui devait jouer un rôle important dans la classification, n'était guère plus avancée que la cristallographie. Les idées des alchimistes régnaient encore, les méthodes analytiques étaient plus qu'imparfaites, elles se limitaient à un petit nombre de réactions dues surtout à BOYLE, et l'on s'appliquait tout au plus à soumettre les minerais à des essais approximatifs. Mais la tendance chimique ne tarda pas à se prononcer, et ses méthodes d'investigation donnèrent un nouvel élan à l'étude des sciences minérales. C'est un peu plus tard en effet que les chimistes suédois, dont l'influence fut si considérable sur les progrès de la minéralogie, se signalent par leurs découvertes. Dès 1747, WALLERIUS publie son système des minéraux, dans lequel les carractères chimiques sont mis en relief. et AXEL VON CRONSTEDT (1722-1765) consigne dès 1758 les premiers résultats scientifiques obtenus à l'aide du chalumeau. C'est à partir de ce moment, que ce précieux instrument fut appelé à jouer le grand rôle dans la détermination des espèces minérales. CRONSTEDT établit un système chimique dans lequel chaque classe et chaque ordre sont précédés des caractères qui dépendent de la composition. Son traité de minéralogie est un livre pratique qui contribua beaucoup à promouvoir l'étude de notre science. Mais quoi qu'on doive à WALLERIUS et à CRONSTEDT les travaux les plus importants qu'on eût fait jusqu'alors sur la détermination des minéraux par les méthodes chimiques, ils n'ont pas apprécié à leur juste valeur les caractères cristallographiques. Ils les négligèrent à tel point que CRONSTEDT, l'un des meilleurs esprits du temps, absorbé par les considérations chimiques, envisage les angles et les faces de certaines substances cristallisées comme n'étant soumis à aucune loi.

Ce que nous venons de dire ne s'applique pas cependant aux travaux d'un autre savant suédois, TORBERN BERGMANN (1735-1784). Dans son mémoire

sur le spath calcaire, qui parut en 1773, il montra que la forme externe était reliée par des rapports intimes avec la forme interne ou solide de clivage. BERGMANN, ne s'arrêtant pas à la constatation des faits qu'il observe, cherche à pénétrer la constitution intime de la matière cristallisée, et il arrive ainsi à la conclusion que les formes cristallographiques, revêtues par une espèce minérale, résultent de la superposition de plans autour d'une même forme primitive (*forma primitiva*) que lui donnait le solide de clivage. Il ne poussa pas plus loin; il ne s'occupa pas de la forme de la molécule cristalline, ni des lois qui régissent la variation des lamelles décroissantes. Nous verrons bientôt quel parti HAÜY sut tirer d'observations semblables en les généralisant et déduisant d'elles les principes scientifiques de la cristallographie.

Les travaux de BERGMANN dans le domaine de la chimie minérale ont à leur tour une grande portée. Il constate le premier que la température s'abaisse lorsque les sels se dissolvent; que, lors de la cristallisation, de la chaleur se dégage; que des cristaux peuvent se produire de solution aqueuse, d'un magma igné et par sublimation. Il tient compte de la dureté et du poids spécifique dans la détermination des espèces. Il enseigne le mode d'attaque des silicates insolubles à l'aide des alcalis; il introduit dans la chimie analytique la méthode qui consiste à déterminer un élément, non en l'isolant, mais dans une de ses combinaisons bien connues et qui se forme le plus facilement. Les recherches de BERGMANN portent le cachet d'un esprit scientifique vrai, se rattachent à la tendance géométrique, physique et chimique, qui domine à l'heure qu'il est les sciences minérales. Elles tranchent à cet égard sur celles de ses devanciers, dont les observations ne portaient que sur un côté de la science; elles tranchent en particulier sur celles de WERNER, le plus illustre représentant de la méthode de l'histoire naturelle appliquée à la minéralogie.

Le mémoire de BERGMANN sur le spath calcaire venait de paraître lorsque WERNER (1750-1817) publia, en 1774, son travail sur les caractères externes des minéraux (*Von den aüsserlichen Kennzeichen der Fossilien*). Cette œuvre présente les qualités remarquables qui ont caractérisé l'enseignement de cet homme célèbre : netteté dans l'expression, sagacité dans la perception des propriétés distinctives, logique dans l'exposition. Les propriétés distinctives des minéraux sont groupées en quatre subdivisions: les caractères externes, internes, physiques et empiriques. C'est aux caractères externes, à ceux pour la recherche desquels nos sens suffisent, que WERNER attribue le rôle principal dans la détermination des minéraux. Pour ce savant, l'attirail du minéralogiste est des plus simples : tous ses instruments consistent en un couteau, un briquet, une lime, un fer aimanté, une loupe, un flacon d'acide, et si l'on ajoute à tout cela, dit-il, un chalumeau, on est pourvu à l'excès. Les propriétés de la couleur, de l'éclat, de la cassure, de la rayure, de la dureté, etc., sont mises en relief d'une manière remarquable, ainsi que les caractères organoleptiques; tout cela est tracé de main de maître. Mais on n'en peut dire autant de la cristallographie de WERNER; elle manque

d'exactitude. Il admet sept formes fondamentales : le cube, l'icosaèdre régulier, le dodécaèdre régulier, le parallélipipède, le prisme, la table, la lentille. C'est de ces formes qu'il fait dépendre toutes celles que présentent les cristaux des diverses espèces. Quand on se rappelle que l'icosaèdre régulier n'existe pas en minéralogie, non plus que le dodécaèdre régulier, qu'une seule espèce minérale, la calcite, présente jusqu'à cinq des formes fondamentales de Werner, il est inutile d'insister pour montrer les imperfections de ce système cristallographique. Mais par la nomenclature que sut créer le géologue de Freiberg, et en séparant la minéralogie de la géologie, comme il le fit dès ses leçons de 1780, il donna à notre science un champ d'action plus nettement limité et une existence propre; par son enseignement fécond, par les hommes éminents qu'il groupait autour de sa chaire et qui s'illustrèrent dans l'étude des sciences minérales, il rendit à ces dernières d'inoubliables services.

Au moment où Werner donnait cette impulsion à l'étude des minéraux, et qu'il personnifiait en quelque sorte dans son enseignement la tendance à traiter la minéralogie comme science naturelle, l'école française, dont nous allons signaler la grande influence sur les progrès de cette branche de nos connaissances, suivant une autre voie, abordait d'une manière remarquable l'étude des caractères géométriques.

C'est à Romé de l'Isle (1736-1790) qu'on doit d'avoir ramené la cristallographie à des principes plus exacts: il groupa les cristaux de même nature, choisit pour chaque espèce minérale une forme simple, par des troncatures diverses il en déduisit les autres formes et montra les relations qui unissent toutes celles d'un même groupe. C'est dans son *Essai de cristallographie*, 1772, et dans sa *Cristallographie ou description des formes propres à toutes les espèces minérales*, que sont exposées ses vues. Pour de l'Isle, chaque cristal de la même substance peut être dérivé d'une forme fondamentale qu'il appelle *forme primitive*, dont les angles sont caractéristiques et propres à la substance elle-même. Les formes secondaires sont produites par des modifications sur les arêtes ou les angles solides de cette forme primitive, mais ces modifications sont telles qu'elles s'opèrent en même temps et de la même manière sur tous les angles et les arêtes de la même espèce, c'est-à-dire sur tous les éléments de la forme fondamentale qui sont géométriquement semblables. Ces faces secondaires avaient été déjà observées, mais on les avait envisagées comme étant plus ou moins accidentelles.

Pour établir sa théorie, de l'Isle determina la forme primitive des substances cristallisées qu'il connaissait, et il trouva dans sa collection de cristaux, la plus belle qui existât alors, les éléments de son travail. Afin de s'aider dans ces recherches, il fit construire par Lermina et Carangeol des modèles en argile des formes qu'il étudiait. Carangeot, voulant atteindre toute l'exactitude possible dans la confection de ces solides géométriques qu'il ne parvenait pas à réussir sans les soumettre à des mesures angulaires, imagina, au cours de son travail, le goniomètre d'application. Ainsi fut mis

entre les mains du savant français un instrument, très simple il est vrai, mais suffisamment précis pour lui permettre d'établir, par des déterminations faciles à faire avec cet appareil, la loi que STENO avait découverte au cristal de roche, mais qui n'avait pas reçu toute sa généralisation. Parcourant toutes les modifications qu'un cristal peut subir par troncature et surtroncature de ses angles solides et de ses arêtes, DE L'ISLE arrive à la conclusion « qu'au milieu des variations sans nombre dont la forme primitive d'un sel ou d'un cristal quelconque est susceptible, il est une chose qui ne varie pas et qui reste constamment la même dans chaque espèce : c'est l'angle d'incidence ou l'inclinaison respective des faces entre elles ».

Après avoir constaté à l'aide du goniomètre que les angles des faces semblables de la forme primitive sont constants et caractéristiques pour la substance dont il s'agit, il fut conduit à admettre six formes primitives principales, qui soumises à des modifications symétriques donnent naissance à un grand nombre de formes secondaires. Les solides primitifs de DE L'ISLE sont : le tétraèdre, le cube, l'octaèdre, le rhomboèdre, l'octaèdre à base rhombe, la double pyramide hexagonale. Nous ne poursuivrons pas dans le détail les modifications systématiques auxquelles il soumettait chacune de ces formes fondamentales pour en dériver les solides secondaires; bornons-nous à indiquer quelques-unes des conclusions principales que DE L'ISLE fait découler de ses observations. Toute bipyramide peut être accompagnée des faces du prisme, et inversement tout prisme bipyramidé peut se présenter sans les faces du prisme. Un cristal avec faces de prisme, portant des faces de pyramide à une extrémité, serait terminé à l'autre par les mêmes faces si elle avait pu se développer librement. Ainsi, l'existence d'une de ces pyramides nous permet de conclure à l'existence de l'autre. C'est ainsi que DE L'ISLE arrive à formuler la *loi du parallélisme des faces*. Un cristal présentant des angles rentrants est formé par deux ou plusieurs individus groupés simplement, ou bien la moitié d'un des cristaux à angle rentrant peut être envisagée comme ayant tourné de 180°, l'autre moitié restant fixe. Il exprime donc nettement la notion de la *macle*. et il en donne un grand nombre d'exemples : c'est ainsi qu'il figure celles du gypse, de l'harmotome, de la staurotide, du feldspath, du spinelle, de la pyrite et de la cassitérite. Il reconnaît les pseudomorphoses, car il interprète le quartz cubique comme remplissage de vides laissés par la pyrite, la galène ou la fluorine.

L'œuvre de DE L'ISLE comprend, outre les principes de cristallographie sur lesquels on vient d'insister, la description des espèces, les figures des formes cristallisées, la mesure de leurs principaux angles; et pour nous servir des expressions même d'HAÜY, sa cristallographie est le fruit d'un travail immense par son étendue, presque entièrement neuf par son objet, et très précieux par son utilité.

Il importe de signaler que toutes les méthodes dont il fut question jusqu'ici sont presque exclusivement descriptives, que toutes les recherches minéralogiques se réduisent à l'observation de l'aspect extérieur des cristaux

sans qu'elles établissent des rapports avec la structure interne, sans relier l'ensemble des faits connus par une conception sur l'édifice moléculaire des cristaux. C'est à HAÜY que revient l'honneur d'avoir abordé avec succès ce côté élevé des sciences minérales; mais avant de résumer ses vues, arrêtons-nous pour faire ressortir le concours précieux qu'à cette époque les chimistes ont apporté aux progrès de la minéralogie.

Nous avons dit plus haut qu'on doit à CRONSTEDT les premières indications scientifiques sur la manière de se servir du chalumeau. A l'époque où nous sommes arrivé, cet instrument était d'un usage constant chez les minéralogistes, et l'on peut avancer que l'application qu'on fit dès lors du chalumeau pour caractériser les espèces eut pour la chimie minérale une portée semblable à celle du goniomètre pour la minéralogie physique. Pour ne citer que les decouvertes saillantes de cette période en chimie minérale, bornons-nous à signaler celles de KLAPROTH qui, de 1789 à 1803, reconnait l'urane, la zircone, le titane. le cérium et caractérise le tellure, celles de SCHEELE qui, de 1771 à 1781, découvre coup sur coup l'acide wolframique, l'acide fluorhydrique, l'acide molybdique, le manganèse, le chlore, la baryte. Les méthodes d'analyse quantitative, telles qu'elles avaient été préconisées par BERGMANN. furent bientôt perfectionnées par des chimistes habiles, à la tête desquels on doit citer KLAPROTH, KIRWAN et VAUQUELIN. Les travaux de ces maitres des sciences chimiques contribuèrent dans une large mesure à établir la notion de l'espèce et à préciser les caractères diagnostiques des substances minérales.

Mais au point de vue de notre science, toutes ces recherches s'effacent devant celles d'HAÜY, qui viennent en quelque sorte couronner l'édifice élevé durant cette première période de l'histoire de la minéralogie scientifique. et qui se termine vers la fin du XVIIIe siècle. L'œuvre de cet illustre savant dépasse, tant par la portée des déductions que par la profondeur des observations, toutes les découvertes que nous avons signalées jusqu'ici.

L'abbé RENÉ-JUST HAÜY naquit en 1743 à St-Just dans l'Oise, il mourut à Paris en 1822. Ses premiers travaux sur la structure du grenat et du calcaire parurent dans le *Journal de Physique,* en 1782; son mémoire, *Essai d'une théorie de la structure des cristaux,* date de 1784; il publia en 1782 son *Exposition de la théorie de la structure des cristaux*. Son célèbre *Traité de minéralogie* parut dans sa première édition en 1801.

Pour DE L'ISLE, le choix de la forme primitive, dont il faut dériver toutes celles qu'affecte une espèce minérale, était en quelque sorte arbitraire, car on pouvait prendre comme solide fondamental presque chacune des formes dérivées d'une série, la soumettre à toutes les troncatures systématiques et en obtenir ainsi tous les solides dérivés. Mais on pouvait soulever une objection plus grave : c'est qu'il avait choisi le cube et l'octaèdre comme formes primitives distinctes, alors qu'ils ne sont en réalité que des termes d'une même série, et qu'on peut les faire dériver l'un de l'autre par des modifications identiques portant sur les mêmes angles. On se refusait à admettre

cette science, surtout les naturalistes du temps, qui s'insurgeaient contre la méthode comme la trouvant déjà trop mathématique pour se plier aux faits de la nature. Les découvertes d'Haüy vinrent donner de la forme primitive une notion plus exacte et en rapport avec les résultats de l'observation.

Il est presque inutile de rappeler, tant les faits sont connus, comment Haüy fut amené à ses grandes découvertes. Ayant détaché d'un groupe de calcite un cristal prismatique, ce prisme vint à se briser de façon à montrer sur sa cassure des faces non moins lisses que celles du dehors et qui présentaient l'aspect d'un cristal nouveau tout différent du prisme par sa forme. Le savant français ignorait alors les observations de Bergmann, rappelées plus haut, et qui portaient sur le solide de clivage du même minéral. Haüy étudie les faces nouvelles qu'il obtient en clivant l'échantillon, et découvre qu'elles sont les mêmes que dans le rhomboèdre du spath d'Islande. Il poursuit ses expériences, et de tous les cristaux de calcite il fait sortir toujours le même solide de clivage, quelle que soit la forme externe du solide qu'il clive. Envisageant ce noyau comme forme primitive, il en fait dériver toutes les formes cristallines observées à la calcite.

Haüy constate ensuite l'existence d'un solide de clivage pour un grand nombre d'autres espèces minérales, et il conclut que le noyau obtenu en clivant un minéral est la forme primitive propre de l'espèce. Le choix de cette forme est donc indiqué par la nature; il n'est plus arbitraire. Les solides de clivage d'un grand nombre de minéraux sur lesquels portèrent ses expériences lui permirent de reconnaître comme formes primitives : le cube, l'octaèdre régulier, le tétraèdre, le rhombododécaèdre, le rhomboèdre aigu et obtus, l'octaèdre à base rectangulaire ou tétragonale, les prismes droits, dans lesquels les arêtes latérales sont perpendiculaires au plan des bases, les prismes obliques, dans lesquels ces mêmes arêtes sont obliques sur le plan des bases, enfin le prisme hexagonal régulier et la double pyramide hexagonale. Soumettant ces solides aux modifications qu'on obtient par les troncatures, les biseaux et les pointements, il en fait dériver toutes les formes secondaires. Il constate que, dans la nature, les modifications sont soumises à des lois dont la première est la *loi de symétrie*, d'après laquelle les modifications se répètent de la même manière et produisent le même effet sur toutes les parties extérieures identiques.

L'existence de cette loi avait été implicitement reconnue par de l'Isle; mais il n'avait vu que le fait, la raison du phénomène lui avait échappé. Nous allons voir comment Haüy arriva à établir les relations mathématiques qui unissent les faces secondaires à la forme primitive et donnent aux premières une direction déterminée. Cette découverte se rattache à sa théorie de la structure des cristaux, elle est le développement logique des études auxquelles il s'était livré sur le clivage.

Nous avons dit qu'en provoquant le clivage d'un grand nombre de minéraux, il avait obtenu des solides polyédriques comme ceux que lui avaient donnés les cristaux de calcite; il avait constaté qu'aussi loin qu'était poussée la division mécanique, ce noyau restait le même, revêtant avec une con-

stance absolue la forme polyédrique du solide de clivage. Puisque l'expérience, poursuivie jusqu'aux limites extrêmes de la division mécanique, donne toujours le noyau géométrique caractéristique de l'espèce, il en conclut que l'élément insécable revêt lui aussi le même caractère géométrique qu'on voit à l'œil nu dans le solide de clivage. Cet élément insécable est la *molécule intégrante* d'Haüy, et il admet que c'est par le groupement régulier, par l'orientation de ces molécules polyédriques, de même dimension et infiniment petites, qu'est construit l'édifice cristallin; elles forment dans le cristal par leur juxtaposition des files ou rangées rectilignes.

Si nous nous reportons à ce que nous avons dit plus haut en rappelant les expériences d'Haüy sur le clivage de la calcite, on remarquera qu'on arrive à dégager d'une forme secondaire le noyau de clivage ou forme primitive en enlevant successivement des lames du minéral; on peut donc envisager la forme primitive comme déduite de la forme secondaire par l'enlèvement successif de lames; cette forme secondaire est comme édifiée sur la forme primitive par la superposition sur toutes ses faces de lames graduellement décroissantes en étendue, soit de tous les côtés à la fois, soit seulement dans certaines parties. L'illustre savant chercha à trouver la loi à laquelle obéissent ces *décroissements*, et il put démontrer qu'ils s'opèrent par des soustractions régulières d'une ou de plusieurs rangées de molécules intégrantes parallèles à certaines directions des lames.

Si la conception théorique d'Haüy est vraie, les faces secondaires n'ont donc pas une position arbitraire comme le supposait encore de l'Isle, mais cette direction des facettes est celle qui répond à la soustraction d'un certain nombre de rangées de molécules intégrantes, rangées dont l'épaisseur est mesurée par un multiple d'une de ces molécules. Et de fait, il prouva, en soumettant au goniomètre un nombre considérable de cristaux, que l'inclinaison des faces secondaires sur les faces du solide primitif est telle que le réclame sa théorie, que le nombre de rangées à soustraire au noyau est simple et rationnel et qu'il dépasse rarement le nombre de six.

C'est ainsi qu'il arriva à formuler la *loi des décroissements*, principe de tous les calculs cristallographiques, qui trace les directions que peuvent prendre les facettes secondaires et restreint dans une large mesure les modifications symétriques. Cette loi est généralement désignée aujourd'hui sous le nom de *loi des paramètres* et en introduisant comme on le fait maintenant la notion des *axes cristallographiques* dont nous allons parler à l'instant, on peut la formuler de la manière suivante : Toutes les modifications susceptibles de se produire sur les arêtes et les angles d'un polyèdre cristallin donné, étant suffisamment prolongées, coupent les paramètres de ce polyèdre à partir du centre dans un rapport rationnel généralement assez simple.

Dès ce moment la cristallographie, la branche la plus importante de la minéralogie, est fondée : elle se présente comme une science immuable quant à ses principes; sa forme seule sera susceptible d'être modifiée. Il est inutile

d'insister sur le parti qu'Haüy sut tirer du caractère cristallographique pour la détermination des espèces minérales et l'influence qu'exercèrent ses découvertes sur la minéralogie descriptive, qui se transforma en ses mains. Il avait ouvert la voie aux recherches vraiment scientifiques de la minéralogie, presque tous ses progrès futurs découleront de l'application rationnelle des principes qu'il a établis et se rattacheront aux lois qu'il a découvertes.

Mais les conceptions théoriques de ce savant sur la forme polyédrique primitive, choisie comme point de départ de l'édifice cristallin, ne furent pas sans soulever des objections. D'abord certains minéraux n'ont pas de clivages distincts, d'autres en ont un ou deux seulement; or, il en faut trois au moins pour limiter un solide. On attribuait à ces minéraux un solide primitif arbitraire, et rien ne commandait de le choisir comme forme primitive. Une autre objection consistait à dire que, si l'on prend comme point de départ les solides de clivage, certaines molécules intégrantes qui en résultent ne peuvent se ranger sans vides : tels sont l'octaèdre et le tétraèdre; en effet, les molécules qui ont cette forme doivent par la cristallisation se réunir symétriquement, c'est-à-dire de manière que les parties semblables de toutes les molécules soient semblablement dirigées. Si l'on cherche à remplir cette condition avec des octaèdres ou des tétraèdres, on doit les disposer de manière à ce qu'ils se touchent par leurs arêtes, et l'édifice moléculaire n'aura aucune stabilité. Une objection plus sérieuse encore est celle qu'on formulait en disant que les lois de symétrie et des décroissances rationnelles trouvaient leur interprétation en prenant comme point de depart, non le solide de clivage, mais toute autre forme de la série cristalline à laquelle appartenait le solide de clivage ou la forme primitive.

Plus tard ces objections seront levées, lorsqu'on substituera dans la conception d'Haüy l'idée de centres de forces sans forme définie, et qu'on mettra ainsi en rapport avec les progrès de la physique moléculaire les idées géniales du législateur de la minéralogie. Mais au commencement de ce siècle, les objections qu'on soulevait conservaient toute leur portée. C'est alors que Ch. S. Weiss (1780-1856), ancien élève de Werner, qui avait suivi les leçons d'Haüy dont il avait traduit le traité de physique et de minéralogie, entreprit de donner une autre forme aux conceptions du savant français. Dans un premier travail, Weiss avait montré que non seulement des directions de clivage étaient parallèles aux faces du solide primitif, mais que le clivage, voilé il est vrai, pouvait se produire suivant des facettes secondaires. Cette objection, ajoutée aux précédentes que nous venons de rappeler, le conduisirent à créer pour l'étude des cristaux un système dans lequel il faisait abstraction de toute hypothèse sur la constitution moléculaire des minéraux cristallisés. Le système cristallographique de Weiss, exposé dans son mémoire *De indagando formarum crystallinarum charactere geometrico principali*, 1809, est purement géométrique. Il introduit la notion des *axes cristallographiques*, et fait voir que les faces du cube, de l'octaèdre régulier, du rhombododécaèdre peuvent se rapporter à un système d'axes coordonnés

égaux en longueur et se coupant sous des angles droits. Pour la pyramide et le prisme à base carrée, les trois axes sont à angles droits, mais deux de ces lignes seulement sont égales entre elles; pour le rhomboèdre, le prisme hexagonal régulier et la pyramide hexagonale, trois axes sont égaux, situés dans un même plan, également inclinés les uns sur les autres, et le quatrième axe est perpendiculaire sur les trois premiers; pour une pyramide ou un prisme à base rhombe, les trois axes sont perpendiculaires mais de longueur inégale. Weiss montra en outre qu'en prenant sur les axes des longueurs égales à 2, 3, 4, etc. fois la longueur prise comme unité et faisant passer par ces points déterminés des faces cristallines, on obtenait toutes les formes secondaires dont Haüy avait démontré l'existence.

En 1820, Mohs (1774-1839), un des plus brillants élèves de Werner, établit quatre *systèmes cristallins* qui répondent exactement aux subdivisions de Weiss qu'on vient d'indiquer.

Une conception purement géométrique s'est donc substituée aux idées d'Haüy sur la structure des cristaux; mais il est à peine besoin d'ajouter que les lois fondamentales, la rationalité des axes et la constance des angles conservent toute leur valeur. Une nouvelle notion s'introduit vers cette époque : c'est la notion de l'*hémiédrie*. De l'Isle et Haüy avaient envisagé le tétraèdre comme forme primitive; Weiss et Mohs le considèrent comme un octaèdre dont la moitié des faces alternes auraient été éliminées; ils désignent l'octaèdre comme forme holoédrique, le tétraèdre comme hémièdre.

En 1822, Mohs, appliquant le goniomètre à reflexion découvert par Wollaston en 1809 et secondé dans ses observations par Haidinger, arriva par des mesures angulaires plus exactes à affirmer l'existence de deux systèmes de cristallisation qu'on n'avait pas encore signalés jusqu'alors. Il constata que certains polyèdres cristallins n'avaient pas les trois axes rectangulaires : une série présentait, en effet, deux axes obliques et le troisième perpendiculaire sur les deux autres, et une troisième série avait les trois axes obliques les uns sur les autres. Placés à la suite des quatre systèmes antérieurement établis, ils constituent le cinquième et le sixième système cristallographique de Mohs. Ces dernières recherches achevèrent de constituer définitivement les systèmes cristallographiques. On doit, en outre, à Mohs d'avoir contribué dans une large mesure à la diffusion de la science minéralogique. Élève de Werner, il mit en première ligne les caractères externes comme l'avait fait son maître; cependant, comme on vient de le voir, il donna plus de portée que celui-ci à l'étude des propriétés géométriques. Il rendit de réels services en introduisant son échelle de dureté qui a conservé toute son importance pour la détermination des espèces. Fidèle aux traditions de l'École de Freiberg, il en suit la tendance un peu exclusive en établissant son système des minéraux : il ne tient pas compte des caractères chimiques, il s'appuie surtout dans la détermination de l'espèce sur la forme cristalline, le clivage, la dureté, le poids spécifique. Mais ce système tout artificiel et compliqué était condamné à être bientôt abandonné.

La découverte de la polarisation de la lumière trouva bientôt de remarquables applications en minéralogie. En 1819, Brewster (1781-1865) montra que la subdivision en systèmes obtenus par la considération des rapports géométriques pouvait être confirmée par l'étude des propriétés optiques des corps cristallisés. Ce physicien établit, en effet, que tous les corps dont le solide de clivage est un cube, un octaèdre régulier, un tétraèdre ou un rhombododécaèdre, sont sans action sur la lumière polarisée; que tous ceux dont le solide de clivage est un rhomboèdre, un prisme hexagonal, une pyramide hexagonale, un octaèdre ou un prisme à base carrée ne possèdent qu'*un axe optique;* que tous les cristaux dont le solide de clivage est différent de ceux signalés plus haut sont à *deux axes optiques.*

Ce n'est qu'un peu plus tard, en 1833, que de nouvelles recherches sur l'optique des cristaux firent voir que les deux systèmes à axes obliques étaient fondés comme les quatre premiers sur des propriétés spéciales de la structure interne. On montra, en effet, que les solides à deux axes optiques peuvent se subdiviser en trois groupes répondant aux trois derniers systèmes cristallographiques : dans le premier groupe, les bissectrices de l'angle formé par les axes optiques et une troisième ligne normale au plan qui renferme les axes se confondent, quant à la direction, avec les axec cristallographiques (IVe système); pour ceux du second groupe, ces deux bissectrices ne coïncident plus avec les axes cristallographiques (Ve système), et dans le dernier système, les bissectrices et la normale ne coïncident pas avec les axes géométriques du cristal (VIe système).

Les découvertes qu'on vient de rappeler sont l'une des plus belles conquêtes obtenues par l'application des méthodes géométriques et physiques en minéralogie. Elles seront le point de départ d'études fructueuses qui enrichiront tout à la fois le domaine de cette science et celui de la physique.

Pendant que se développaient ainsi les connaissances relatives à la cristallographie physique et géométrique, et que la minéralogie purement descriptive, quoique toujours trop confinée dans l'étude des caractères externes, faisait faire des progrès incontestables à notre science, la tendance chimique, subissant une vigoureuse impulsion sous l'influence des grands chimistes de l'époque, aidait à combler les lacunes que laissaient exister les méthodes que nous venons de voir appliquer aux recherches minéralogiques, et apportait des données nouvelles sur la composition des minéraux : ces données vont permettre, en faisant entrer en ligne de compte les affinités chimiques, de mieux grouper les espèces et d'établir sur ses vraies bases la minéralogie systématique.

Nous avons dit plus haut comment les chimistes suédois avaient largement contribué par leur concours aux progrès des sciences minérales. C'est encore un savant suédois qui joue le rôle principal dans la phase à laquelle nous sommes arrivé. Des observations exactes avaient montré que les éléments se combinent en proportions déterminées; Berzelius (1779-1848) introduit alors pour chaque corps simple un symbole, qui permet d'exprimer

la constitution d'un minéral par une formule. En 1815, il fit connaître son système chimique des minéraux basé sur le principe électro-chimique. Mais le premier essai de classification dut être bientôt modifié, lorsque MITSCHERLICH vint montrer, par la découverte de l'isomorphisme, que des éléments très différents au point de vue électro-chimique peuvent se remplacer mutuellement sans que les caractères physiques des mélanges soient modifiés d'une manière appréciable à la vue. Sans nier l'importance des découvertes de BERZELIUS, auquel on doit la connaissance exacte de la composition de tant des minéraux, il n'est pas douteux que la tendance qu'il représentait ne conduisait à rien moins qu'à l'absorption de la minéralogie dans la chimie. C'est ce qu'il exprime du reste d'une manière très nette dans son *Nouveau système de minéralogie* (1819). « La minéralogie considérée en elle-même, écrit-il, n'est qu'une partie de la chimie. Elle ne peut avoir d'autre base scientifique que la base chimique; toute autre lui est étrangère, lorsqu'on l'envisage comme science; et si, jusqu'à ce moment, il n'en a pas été certainement ainsi, il faut l'attribuer, d'un côté, au long retard du perfectionnement de la chimie, et de l'autre, à ce que ceux qui ont inventé les systèmes minéralogiques n'avaient pas pénétré avec la même ardeur et la même perspicacité dans le système chimique. »

Ce furent les découvertes d'un autre chimiste, celles de MITSCHERLICH, qui vinrent démontrer bientôt combien les idées trop exclusives de BERZELIUS étaient peu fondées, et prouver comment il est indispensable, tout en tenant un juste compte de la constitution chimique, de faire une large part aux propriétés physiques.

Dès 1815, FUCHS avait signalé que certains éléments pouvaient en remplacer d'autres dans une combinaison; en 1818 MITSCHERLICH montra par la découverte de l'*isomorphisme*, qui est comme une généralisation des observations de FUCHS, comment des cristaux peuvent avoir une composition chimique différente et pourtant offrir au point de vue de la forme et des caractères généraux tant d'analogies qu'on peut à peine les envisager comme appartenant à des espèces différentes. Cette découverte prouvait que, sans qu'il y ait identité absolue de matière, il y a cependant identité dans le groupement des atomes, et qu'une loi préside au remplacement des membres de ces groupes. Elle faisait comprendre d'une manière plus large ce qu'on doit entendre par la composition chimique d'un minéral, et ébranlait dans ses fondements le système électro-chimique.

HAÜY avait déjà reconnu que la calcite et l'aragonite, quoique de même composition, possèdent des formes primitives différentes. MITSCHERLICH fit voir en 1822 que le soufre cristallisé par fusion et refroidissement se transforme en prismes du système monoclinique, et que celui qui cristallise d'une solution concentrée de sulfure de carbone donne des pyramides parfaitement caractérisées du système rhombique. Il avait donc établi le *dimorphisme*, et cette propriété de certains corps fournissait un nouvel argument contre les exagérations de l'école chimique. Ces deux belles découvertes vinrent faire la part légitime aux rivalités qui se traduisaient dans les diverses

tendances en minéralogie, et montrer que si la composition doit servir de base à la classification, la forme cristalline et les propriétés physiques sont des éléments dont la considération donne à la minéralogie son caractère propre et lui assigne un rang dans les sciences naturelles.

On peut dire que dès ce moment les bases de la minéralogie sont jetées, que les grandes lignes de l'édifice scientifique sont tracées; son achèvement sera dû à l'action des diverses écoles dont nous venons d'entrevoir les tendances et les résultats fondamentaux; mais dès ce moment aussi la division du travail se fait sentir, et il serait difficile, sinon impossible, de rappeler les découvertes aussi nombreuses que variées qui se sont succédé depuis dans les diverses branches de la minéralogie. On s'est efforcé d'en tenir compte dans les *Leçons* auxquelles la notice qu'on vient de lire sert d'introduction.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES

DES

MINÉRAUX.

INTRODUCTION.

Définition de la Minéralogie. — La minéralogie est la branche des sciences naturelles qui s'occupe de l'étude des propriétés des minéraux.

On entend par *minéraux* les corps naturels, homogènes, solides, visqueux ou liquides dont la composition chimique déterminée et constante peut être exprimée par une formule, et qui constituent l'écorce du globe.

Tous les minéraux sont *homogènes* c'est-à-dire que leurs propriétés caractéristiques se retrouvent, identiquement les mêmes, dans tous les fragments d'un même échantillon. C'est ainsi que les minéraux se distingent des *roches;* celles-ci sont des agrégats de minéraux.

Les minéraux sont d'origine inorganique. On rattache cependant au règne minéral certaines substances qui ont été produites sous l'influence de la vie, mais qui ont subi des modifications profondes, et sont en quelque sorte minéralisées, par exemple l'ambre. On ne considère pas les produits artificiels comme étant du domaine de la minéralogie.

Division de la Minéralogie. — L'examen et la description scientifique des minéraux doit s'étendre à toutes leurs propriétés; on envisage d'abord leur *forme cristalline*, c'est-à-dire la forme polyédrique régulière que peuvent posséder la plupart des minéraux. On étudie ensuite leurs *propriétés physiques*, c'est-à-dire les phénomènes qu'ils présentent au point de vue de la lumière, de la chaleur, de l'électricité, du magnétisme, de l'élasticité, de la dureté, du poids spécifique. Ce qu'il importe principalement de déterminer c'est leur *composition chimique*. La chimie est la science sur laquelle doit s'appuyer tout particulièrement la minéralogie : car non-seulement elle nous apprend la constitution des minéraux, mais elle indique

leur maniere d'être vis-à-vis des agents chimiques, et les conditions qui ont présidé à leur formation.

En se basant sur les propriétés chimiques, cristallographiques et physiques, on classe systématiquement les minéraux ; cette classification permet alors d'embrasser l'ensemble du règne minéral, et de décrire méthodiquement chacune des espèces. A cette partie *systématique* et *descriptive* de la minéralogie on rattache les détails relatifs aux gisements des espèces, à leurs associations, à leur mode de formation, aux modifications qu'elles éprouvent et à leurs transformations.

Cristaux. — Le plus grand nombre des minéraux se présentent à l'état cristallisé, formés d'un ou plusieurs *individus cristallographiques* qu'on désigne ordinairement sous le nom de *cristaux* (cristal de quartz, de calcite, etc.).

Les cristaux sont des corps solides, homogènes, limités par des faces planes qui se coupent suivant des angles déterminés ; mais cette forme externe n'est qu'une conséquence de la structure interne régulière. C'est cette structure, qui doit donc être considérée comme le trait caractéristique d'un cristal. En effet, l'expérience démontre qu'autour d'un point quelconque d'un corps cristallisé, les propriétés physiques variables en général avec la direction, sont absolument identiques suivant les directions parallèles, d'où suit que la distribution de la matière cristallisée autour d'un point donné est rigoureusement la même qu'autour d'un autre point arbitrairement choisi du même cristal. En tenant compte de cette propriété essentielle du cristal on le définit comme suit :

Un cristal est un corps solide et homogène dont les molécules sont groupées autour d'un certain point de la même façon qu'autour de n'importe quel autre point.

Si les conditions du milieu ambiant sont telles qu'elles permettent au cristal de se développer librement, celui-ci se terminera par des faces planes qui forment des polyèdres à angles déterminés. Cette forme externe revêtue par les cristaux est, répétons le, la conséquence du groupement régulier interne des molécules. Les propriétés physiques, entre autres les phénomènes optiques et ceux de la cohésion dont nous parlerons plus tard, sont également les conséquences de cette architecture moléculaire.

Substances cristallines. — Ajoutons cependant que l'usage a conservé au mot cristal un sens qui semblerait indiquer que les faces régulières externes sont essentielles à la définition. C'est le sens dans lequel ce mot est encore habituellement employé, et qu'on met en opposition avec le terme *cristallin* qui désigne un corps à structure régulière mais dont la forme

externe n'a pu se développer à cause des conditions du milieu ambiant. Ainsi le carbonate de calcium ($CaCO_3$) en cristallisant librement, prend la forme représenté par la figure 1, mais si les cristaux en voie de formation, entravent mutuellement leur développement, il se forme une masse composée de petits individus à contours irréguliers, qui a reçu le nom de calcaire saccharoïde. La figure 2 montre la section mince d'un calcaire saccharoïde : on y voit les contours irréguliers des différents cristaux de $CaCO_3$ qui n'ont pu revêtir la forme (fig. 1) des cristaux librement formés.

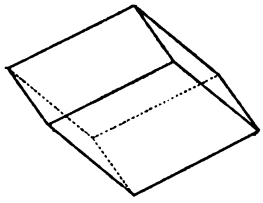


Fig. 1.

La différence entre un cristal et un individu cristallin est donc entièrement externe ; la structure interne est la même pour les deux.

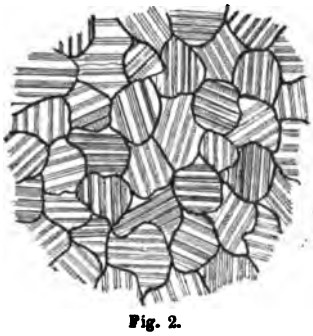


Fig. 2.

Substances amorphes. — Certains minéraux solides n'ont pas de structure interne régulière ; ils sont, à ce point de vue, analogues aux minéraux liquides, et on les désigne sous le nom d'*amorphes* (opale, ambre, etc.). — On admet que dans une substance amorphe, les molécules sont disposées d'une manière quelconque ; il suit de là que les propriétés physiques de ces corps ne sont pas seulement identiques suivant les directions parallèles, mais suivant toutes les directions, ce qui distingue nettement les substances amorphes des substances cristallisées.

PROPRIÉTÉS GÉOMÉTRIQUES
DES CRISTAUX.

En définissant le cristal nous avons fait abstraction de la régularité de ses formes externes; cependant leur étude géométrique offre un moyen des plus sûrs et des plus pratiques de distinguer les différentes espèces minérales, et de faciliter, dans une large mesure, l'examen de la structure interne. Nous nous occuperons donc d'abord de l'étude de ces propriétés géométriques.

Loi de la constance des angles. — *L'angle dièdre formé par deux faces déterminées reste constant pour tous les cristaux d'une même espèce minérale.*

Il résulte de là qu'on peut supposer toutes les faces d'un cristal déplacées parallèlement à elles mêmes; car par ce déplacement le cristal ne subit qu'une modification de dimensions, et il continue à représenter le même type, puisque tous les angles dièdres sont conservés. On peut donc conclure qu'une face est cristallographiquement définie par sa *direction*. Ni sa position absolue dans l'espace, ni son développement relatif n'entrent ici en considération.

Goniomètre. — La connaissance de l'angle dièdre nous offre donc un caractère minéralogique très-important; on le détermine au moyen du *goniomètre*. Nous décrirons les deux types principaux de ces appareils.

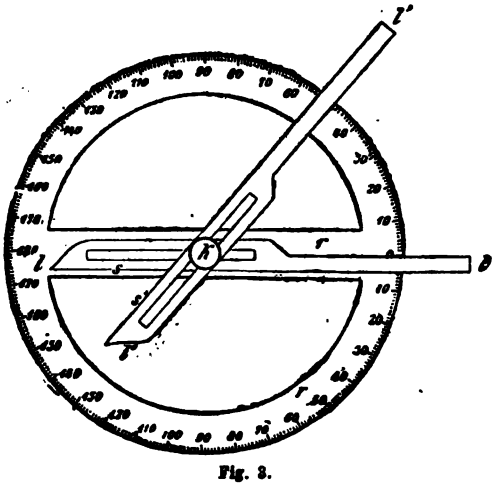


Fig. 3.

Rappelons que le dièdre de deux plans est mesuré par l'angle formé par leurs traces sur un plan perpendiculaire à leur arête. Si donc on prend deux alidades métalliques mobiles autour du centre d'un cercle gradué et qu'on les applique exactement sur les deux faces du dièdre dans un plan perpendiculaire à l'arête, une simple lecture donnera l'angle cherché. Cet instrument est le *goniomètre d'application* (fig. 3); il n'est plus guère employé aujourd'hui que pour la mesure de cristaux volumineux,

ou de ceux dont les faces ne sont pas assez polies pour réfléchir la lumière.

L'appareil dont le minéralogiste se sert de préférence est le ***goniomètre à réflexion*** de Wollaston. Il est basé sur les lois de la réflexion de la lumière.

Soit à mesurer (fig. 4) l'angle AOB formé par les deux faces AO, OB qui se coupent suivant une arête projetée en O sur le plan du papier que nous supposons perpendiculaire à cette arête. Soit M un point lumineux, il envoie un rayon suivant MO, qui, réfléchi par la face OB, pénètre dans l'œil de l'observateur N ; celui-ci voit l'image de M se former dans la direction NOC. Fixons cette direction en faisant coïncider l'image de M avec le centre C d'une croix noire tracée sur une carte blanche. Si maintenant nous faisons tourner le cristal autour de l'arête O, l'observateur verra l'image du point M se reformer en C lorsque la face OA viendra se placer dans le plan occupé précédemment par OB. La figure nous montre qu'il a fallu tourner de l'angle AOA', ***supplément*** de l'angle AOB du cristal. Un cercle gradué perpendiculaire à l'arête O qui passe par son centre, donnera la mesure de l'angle de rotation. A l'aide du goniomètre à réflexion on n'obtient donc pas directement la valeur du dièdre à mesurer, mais son ***supplément*** que l'on appelle ordinairement ***angle normal***, parce qu'il est égal à l'angle formé par deux normales abaissées d'un même point sur les deux faces du dièdre envisagé.

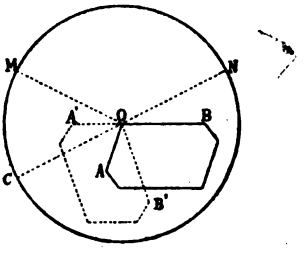


Fig. 4.

Cet exposé du principe de l'instrument permet de décrire en quelques mots le goniomètre à réflexion (fig. 5). Il se compose essentiellement d'un disque métallique vertical V, gradué sur le pourtour de sa circonférence. Ce disque est mobile autour d'un axe horizontal creux qui reçoit son mouvement du bouton S. Un index fixe muni d'un vernier sert aux lectures. Un second bouton T fixé à une tige qui traverse l'axe horizontal creux et le disque V, porte à son extrémité un ensemble de pièces permettant, par une série de mouvements simples, de placer dans la position convenable le cristal qui est attaché sur le porte-objet P au moyen d'un peu de cire. Le bouton S entraîne l'ensemble des pièces de l'instrument ; T au contraire

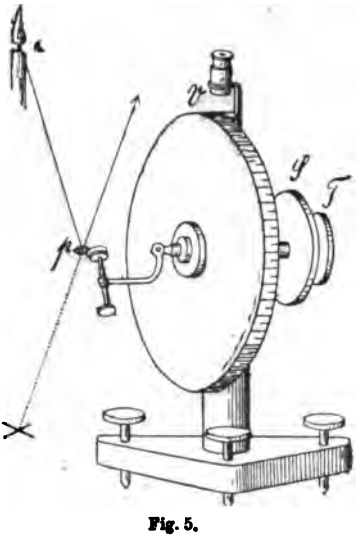


Fig. 5.

ne fait mouvoir que le porte-objet P sans que le disque suive le mouvement.

La première opération consiste à placer l'arête du dièdre à mesurer, rigoureusement dans l'axe de rotation de l'instrument. On y parvient par tâtonnement, en agissant sur les pièces du porte-objet P jusqu'à ce que l'arête soit dans le prolongement de l'axe, et que l'image d'un objet quelconque soit aperçue au même endroit par reflexion sur les deux faces du dièdre à mesurer. Dans cette opération on ne fait usage que du bouton T. Lorsque l'arête du cristal est placée exactement dans l'axe de rotation de l'appareil, on amène une des faces du dièdre dans une position telle que l'œil aperçoive l'image d'un objet lumineux assez éloigné, la flamme d'une bougie par exemple, en coïncidence avec le centre de la croix noire dont nous avons parlé plus haut. On note le chiffre de la graduation qui se trouve alors en regard de l'index. On replace l'œil à sa position primitive, ce qui sera réalisé lorsqu'on apercevra l'image de l'objet lumineux au même endroit, et on tourne le bouton S. La seconde face réfléchit bientôt à son tour, dans la direction de l'œil, les rayons lumineux provenant de l'objet, et l'image se forme de nouveau au même point. On note le chiffre de la graduation en regard de l'index, et une simple soustraction donne l'angle des normales. Notons ici que toutes les valeurs angulaires données dans cet ouvrage se rapportent à l'angle des normales.

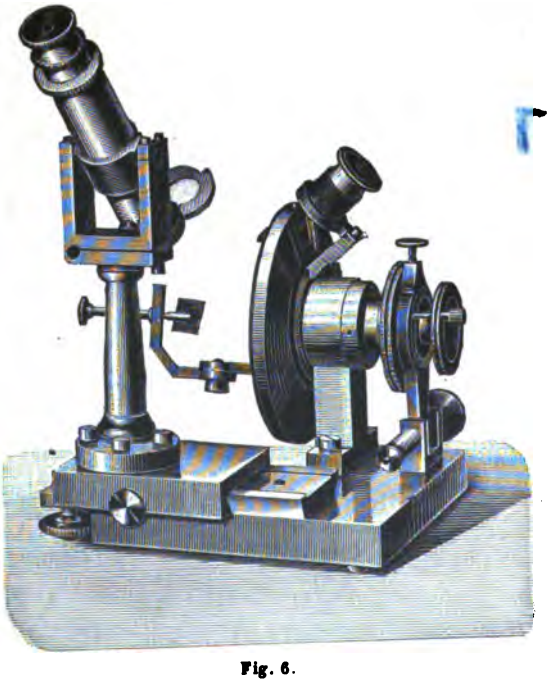


Fig. 6.

Cet instrument primitif a le grand avantage de la simplicité, mais il faut reconnaître que l'observateur, même le plus habile, se trouvant dans l'impossibilité de tenir l'œil rigoureusement immobile, les mesures prises à l'aide de ce goniomètre entraînent toujours des erreurs plus ou moins considérables; d'un autre côté, la théorie demande que la mire soit, sinon à l'infini, du moins très-éloignée, ce qui n'est pas bien réalisable avec un instrument aussi simple, parce que dans ce cas l'image de la mire perd de sa netteté. En outre le réglage de l'arête à mesurer, au moyen

des articulations coudées, est très-pénible et demande souvent plus de temps que tout le reste de l'opération. Pour éviter ces inconvénients on construit d'autres iustruments, qui sont il est vrai, un peu plus compliqués, mais qui permettent des mesures dont l'exactitude n'est limitée que par l'état plus ou moins parfait des faces. Le perfectionnement de ces goniomètres consiste d'abord en ce que la mire est remplacée par un collimateur contenant une lentille biconvexe et muni d'une fente de forme convenable située exactement au foyer de la lentille; des rayons lumineux d'une grande intensité émis par une lampe placée

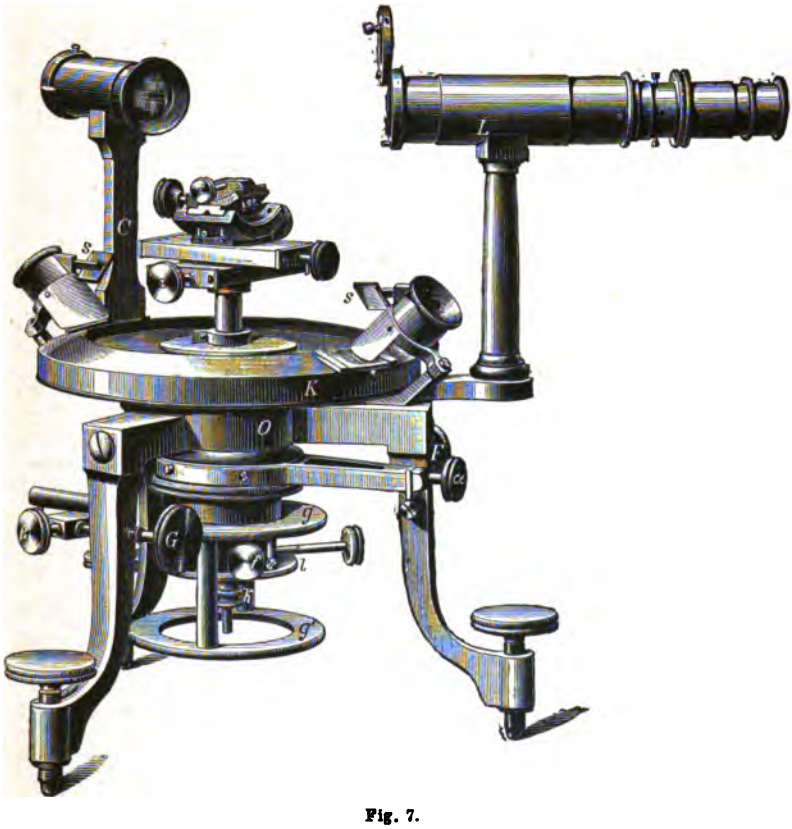


Fig. 7.

devant la fente, sortent du collimateur en faisceau parallèle : on peut donc les considérer comme venant de l'infini. On a en outre, pour observer les images réfléchies sur les faces du cristal, une lunette braquée à l'infini, qui peut être attachée d'une manière fixe au support de l'instrument; ainsi au moment de l'observation l'œil de l'observateur se trouve toujours à la même place. Pour observer le cristal on transforme la lunette en microscope à faible grossissement en plaçant une lentille devant l'objectif. Le réglage s'opère, dans les instruments les plus perfectionnés, par quatre vis : les deux vis supérieures, qui commandent deux mouvements de rotation perpendiculaires l'un à l'autre, servent à amener l'arête à mesurer dans une position parfaitement normale au limbe; les deux vis inférieures permettent de faire coïncider l'arête avec l'axe de l'instrument.

Les goniomètres à réflexion dont il s'agit sont à limbe vertical ou à limbe horizontal. La figure 6 représente un instrument relativement simple à limbe vertical; abstraction faite de la lunette et de quelques pétits perfectionnements dans la construction du limbe et de ses axes, il ne diffère pas essentiellement de celui de la figure 5. La figure 7 donne un autre instrument à limbe horizontal qui réunit tous les perfectionnements énumérés plus haut. On comprend facilement par cette figure le fonctionnement des diverses parties de ces instruments; remarquons seulement que les viroles *g*, *g'* servent à faire tourner le limbe et avec lui l'axe qui porte le cristal; on se sert de la virole *l* pour faire tourner le cristal, indépendamment du mouvement du limbe; la virole R détermine un glissement vertical de l'axe intérieur permettant d'amener le cristal à la hauteur voulue.

Parallélisme des faces. — Si nous soumettons un cristal à l'examen goniométrique, nous observons que les mêmes angles se reproduisent, en général, aux parties opposées du cristal; nous en concluons que ***les cristaux sont limités par des couples de faces parallèles***. La figure 8 représente un octaèdre limité par quatre couples de faces parallèles.

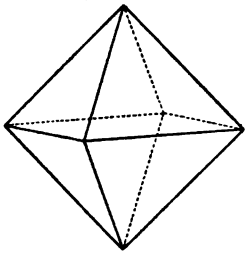


Fig. 8.

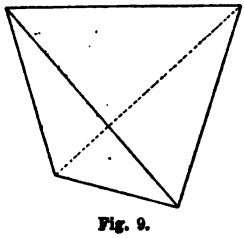


Fig. 9.

Il existe toutefois des formes cristallines où l'on n'observe pas le parallélisme dont il s'agit (fig. 9, tétraèdre), mais on constate d'étroites relations entre ces formes et d'autres à faces parallèles. Si l'on suppose, en effet, que dans les formes à faces non parallèles on mène une face parallèlement à chacune des faces existantes, l'ensemble des faces ainsi obtenues constituera une forme non seulement possible mais existant réellement dans le système cristallographique dont il s'agit.

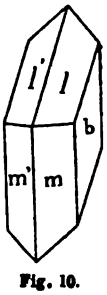


Fig. 10.

Symétrie. — On constate, en général, par l'examen goniométrique, que les faces, arêtes et angles dièdres des cristaux sont disposés ***symétriquement*** par rapport à un ou plusieurs plans, appelés « ***Plans de symétrie*** ». Un tel plan divise le cristal, en deux parties qui sont l'une à l'autre, ce que l'objet est à son image refléchie par un miroir plan.

Un plan paralléle à la face *b* et passant par le centre du cristal est un plan de symétrie pour le cristal fig. 10; l'image de la face *m* produite par ce plan qu'on supposerait réfléchissant, coïncidérait avec *m'*, celle de *l* avec *l'* etc.

Degrés de symétrie; systèmes cristallins. — Le nombre des plans de symétrie d'un cristal indique son degré de symétrie; ce degré sert à grouper les cristaux en differentes classes. Six d'entre elles forment les *classes holoédriques*, dont on peut dériver les autres, dites *classes mériédriques*, par un procédé, qu'on exposera dans la suite. Chacune des six classes holoédriques avec les classes mériédriques qui en dérivent constitue ce que l'on appelle un *système cristallographique*. Les différentes classes de cristaux se répartissent donc en six systèmes cristallographiques. Nous donnons ici le degré de symétrie de leurs classes holoédriques. Notons que tous les cristaux apppartenant aux classes holoédriques sont limités par des couples de faces parallèles.

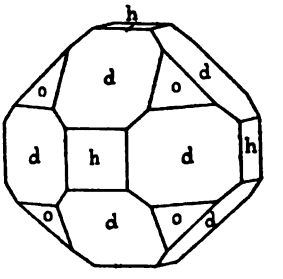


Fig. 11.

I - 3 . 6
II 1 6
III 1 4
IV 3
V 1
VI 0

I. *Système cubique.* — Neuf plans de symétrie; trois d'entre eux (plans principaux) se coupent à angles droits; les six autres plans de symétrie (plans secondaires) sont les plans bissecteurs des angles formés par les premiers.

Exemple : cristal de la figure 11. Les trois plans de symétrie principaux sont parallèles aux faces *h*, les six plans secondaires sont parallèles aux faces *d*.

II. *Système hexagonal.* — Sept plans de symétrie dont six (plans secondaires) se coupent sous des angles de 30° suivant un axe (axe principal) qui est perpendiculaire au septième plan de symétrie (plan principal).

Exemple : cristal des figures 12 et 13. Le plan principal est parallèle à la face *c*, les six plans secondaires sont parallèles aux faces *p* et *p'*.

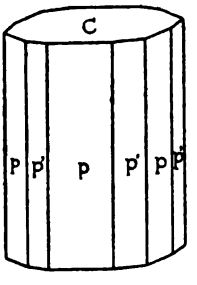


Fig. 12.

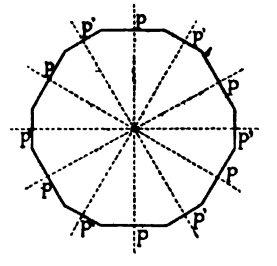


Fig. 13.

III. *Système tétragonal.* — Cinq plans de symétrie dont quatre (plans secondaires) se coupent sous des angles de 45° suivant un seul axe (axe principal) qui est en même temps perpendiculaire au cinquième plan de symétrie (plan principal).

Exemple : cristal des figures 14 et 15. Le plan principal est parallèle à la face *c*, les quatre plans secondaires sont parallèles aux face *p* et *p'*.

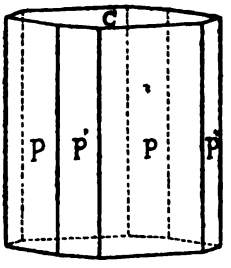


Fig. 14.

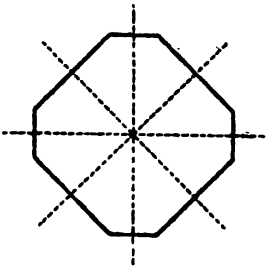


Fig. 15.

IV. *Système rhombique*. — Trois plans de symétrie perpendiculaires les uns aux autres.

Exemple : cristal de la figure 16. Les plans de symétrie sont parallèles aux trois faces *a*, *b*, *c*.

V. *Système monoclinique*. — Un seul plan de symétrie.

Exemple : cristal de la figure 10. Le plan de symétrie est parallèle à la face *b*.

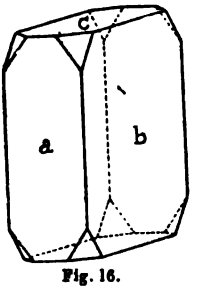


Fig. 16.

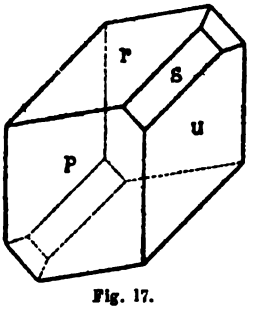


Fig. 17.

VI. *Système triclinique*. — Pas de plan de symétrie.

Exemple : cristal de la figure 17. Le cristal ne possède aucun plan de symétrie.

Mériédrie. — Nous venons de classer les divers corps cristallisés en six groupes ou systèmes dont nous avons indiqué le degré de symétrie. Pour chaque système cristallin l'espace est divisé par les différents plans de symétrie en un certain nombre d'*espaces élémentaires* semblables entre eux au point de vue de la symétrie. Pour fixer le sens que nous attachons au terme *espace élémentaire*, supposons un cristal inscrit dans une sphère et concentrique avec elle; les plans de symétrie du cristal passant par le centre de la sphère diviseront celle-ci en un certain nombre de parties égales : ce sont ces parties que l'on désigne sous le nom d'*espaces élémentaires*. Nous reviendrons du reste plus tard sur cette notion. La position et le nombre des faces situées dans des espaces élémentaires semblables doivent être identiques pour les cristaux qui appartiennent au même sys-

tème. Mais l'examen des cristaux tant naturels qu'artificiels, a montré que cette condition n'est pas toujours remplie : pour certains cristaux aux espaces élémentaires semblables répondent des faces semblables, et pour d'autres cristaux les espaces semblables montrent d'une manière constante et en rapport avec la symétrie du système, une différence caractéristique quant au nombre et à la position de leurs faces. Les premiers cristaux, ceux qui possèdent la totalité des faces exigées par la symétrie du système, sont appelés cristaux *holoédriques* ou *holoèdres;* tandis que les autres sont désignés sous le nom de cristaux *mériédriques* ou *mérièdres*. Cette dénomination est justifiée par le fait que ces derniers ne présentent qu'une partie déterminée des faces des holoèdres.

Parmi les cristaux mériédriques il convient de distinguer ceux appelés *hémiédriques*, qui ne présentent que la moitié des faces de l'holoèdre correspondant et ceux dits *tétartoédriques* possédant le quart seulement de ces faces.

Tous ces cristaux mériédriques peuvent être dérivés des cristaux holoédriques du même système, en supposant que les faces situées dans certains espaces élémentaires déterminés se développent indépendamment des autres. Ce développement partiel est la *mériédrie*. Les cas particuliers de la mériédrie sont l'*hémiédrie* et la *tétartoédrie*.

Il arrive souvent que par suite de circonstances d'ordre tout-à-fait secondaire, indépendantes de la nature des molécules cristallines, une ou plusieurs faces manquent à un cristal. Ce fait fortuit qu'on désigne parfois et à tort sous le nom de *mériédrie irrégulière*, ne doit pas être confondu avec la mériédrie régulière dont nous venons de parler. Celle-ci, au contraire, dépend essentiellement de la nature des particules cristallines, elle n'est jamais accidentelle et elle est soumise à certaines lois, qui sont, à leur tour, déterminées par la symétrie du système.

Hémiédrie. — Occupons-nous d'abord de l'hémiédrie, et pour mieux en expliquer la nature prenons un exemple : la figure 18 représente la forme

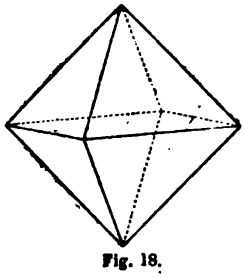


Fig. 18.

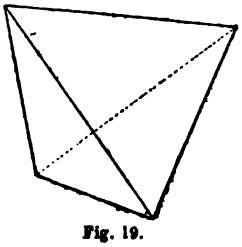


Fig. 19.

cristalline habituelle des cristaux de Fer aimant (Fe_3O_4); c'est un octaèdre appartenant au système cubique, il possède toutes les faces exigées par les plans de symétrie du système, cette forme est donc un holoèdre. A côté de ce cristal on voit dans la figure 19 la forme que les cristaux de Tétraédrite

offrent généralement. Les formes de ces deux cristaux n'ont aucun rapport en apparence, mais si l'on détermine leurs angles dièdres on reconnait qu'on peut dériver la forme de la figure 19 de celle de la figure 18, en supposant que les quatre faces laissées en blanc dans la figure 20 se développent indépendamment de celles qui sont striées; ces faces développées jusqu'à se couper mutuellement, forment un tétraèdre qui est évidemment identique avec celui de la figure 19. Si, à leur tour, les quatre faces striées se développent indépendamment des autres, il en résulte un second tétraèdre (fig. 21) qui est tourné d'un angle de 90° par rapport au premier. De cette façon nous avons déduit de l'octaèdre deux formes hémiédriques désignées ordinairement comme tétraèdre positif (fig. 19) et tétraèdre négatif (fig. 21). La figure 22 représente

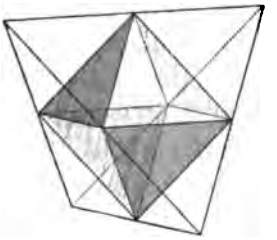


Fig. 20.

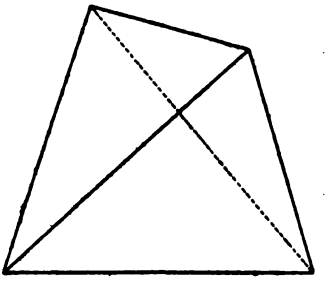


Fig. 21.

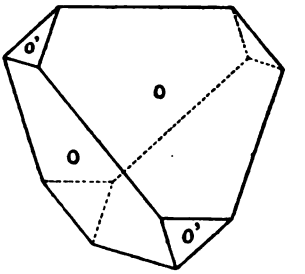


Fig. 22.

une combinaison de ces deux tétraèdres, où le tétraèdre positif domine. Si le développement des deux tétraèdres était le même, leur combinaison reconstituerait un octaèdre dont la forme au point de vue géométrique, serait identique à celle de l'octaèdre holoédrique.

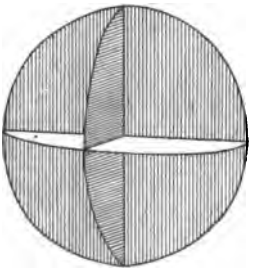


Fig. 23.

Comme les hémièdres ne présentent que la moitié des faces des holoèdres dont ils dérivent, il est clair qu'ils ne peuvent plus posséder le même dégré de symétrie que ces derniers. Ainsi par exemple, les faces de l'octaèdre (fig. 18) sont disposées symétriquement par rapport à trois plans perpendiculaires les uns aux autres et dirigés comme l'indique la figure 23; ces trois plans de symétrie n'existent plus dans les deux tétraèdres.

Les plans de symétrie qui disparaissent ainsi offrent un intérêt tout particulier, parce qu'en général leur suppression définit nettement l'hémiédrie dont

il s'agit. Par exemple, la disparition des trois plans de symétrie représentés dans la figure 23 définit l'hémiédrie qui donne naissance aux deux tétraèdres. On peut dire que dans cette hémiédrie les huit espaces élémentaires déterminés par les trois plans de symétrie principaux ne sont égaux que par alternance, de là résulte le développement alternatif des faces de l'octaèdre. Si nous appliquons cette même loi aux autres holoèdres du système cubique, nous arrivons à toutes les formes de l'hémiédrie tétraédrique que nous avons choisie pour exemple. Ces formes hémiédriques ne sont pas toujours différentes, du moins au point de vue géométrique, de celles de leurs holoèdres. La figure 24 représente un cube sur lequel les octants qui correspondent aux octants de l'octaèdre marqués par des hachures portent également des hachures; si les quatre octants laissés en blanc se développent indépendamment des autres, il en résulte un cube identique à celui dont il dérive. Comme on le voit facilement, ce fait est dû à ce que les faces du cube

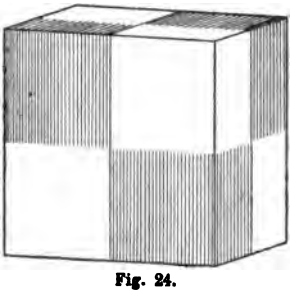


Fig. 24.

sont perpendiculaires aux plans de symétrie qui disparaissent par l'hémiédrie, ou en d'autres termes à ce que les normales abaissées du centre sur les faces du cube sont situées dans ces plans. Ce que nous venons de voir pour le cube est d'une application générale dans tous les cas d'hémiédrie. *Les formes holoédriques qui ont les normales de leurs faces situées dans les plans de symétrie qui disparaissent à la suite d'une hémiédrie déterminée, ne sont pas sujettes à cette hémiédrie.* Cependant comme il est impossible qu'un cristal soit à la fois hémiédre et holoèdre, il faut considérer comme hémiédriques mêmes les formes en apparence holoédriques dont nous venons

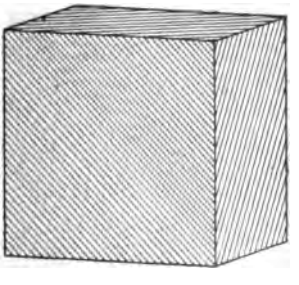


Fig. 25.

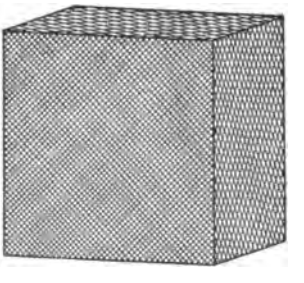


Fig. 26.

de parler et qui peuvent se montrer sur un cristal hémiédrique. Leur nature hémiédrique est d'ailleurs souvent facile à reconnaître. Ainsi les cubes de Blende (ZnS) minéral qui présente l'hémiédrie tétraédrique du système cubique, montrent ordinairement sur leurs faces des systèmes de stries (fig. 25)

qui ne sont plus en rapport avec la symétrie d'un cube holoédrique. En effet, en raison des trois plans de symétrie (fig. 23) les faces d'un cube holoédrique ne peuvent pas être striées suivant une de leurs diagonales seulement; s'il existe des stries en diagonale elles doivent se montrer suivant toutes les diagonales comme l'indique la figure 26 qui représente un cristal de fluorine ($CaFl_2$). Si donc parfois une forme hémiédrique est identique, au point de vue géométrique, à l'holoèdre dont elle dérive, il n'en est jamais ainsi au point de vue physique; seulement la différence intrinsèque entre un holoèdre et un hémièdre géométriquement identiques est souvent difficile à établir.

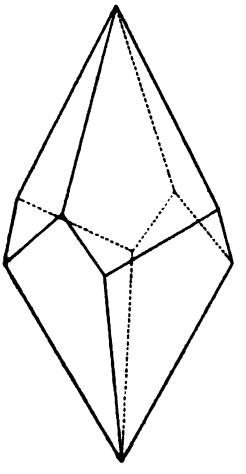


Fig. 27.

En général les deux hémièdres dérivés d'une forme cristalline sont superposables, c'est-à-dire qu'ils ne diffèrent que par leur orientation; ainsi, le tétraèdre fig. 19 peut-être mis en coïncidence avec le tétraèdre fig. 21 par une simple rotation de 90° autour de l'axe vertical. Mais il existe aussi des solides hémiédriques qui ne sont pas superposables; deux formes de ce genre qui sont l'une à l'autre ce que la main droite est à la main gauche sont appelées *plagièdres* ou *formes énantiomorphes* (fig. 27 et 28). On peut donc distinguer deux genres d'hémièdres nettement définis, ceux qui sont superposables et ceux qui ne le sont pas; dans le premier genre il convient d'établir encore une distinction entre les *parahémièdres* qui possèdent un centre de symétrie (fig. 29), c'est-à-dire dont les faces sont parallèles deux à deux, et les *antihémièdres* qui sont dépourvus de ce parallélisme des faces (fig. 19 et 21). Deux hémièdres superposables sont ordinairement distingués par les attributs *positif* et *négatif*, tandis que deux hémièdres énantiomorphes portent les noms de *droit* et de *gauche*.

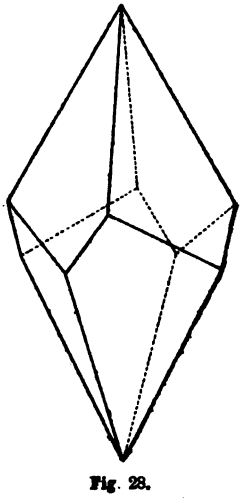


Fig. 28.

Nous verrons plus tard que dans chaque système, à l'exception du système triclinique, il y a deux ou même trois hémiédries qui se déduisent des holoèdries par la suppression de certains groupes de plans de symétrie. Parmi ces hémiédries il en est une qui mérite une mention spéciale, c'est l'*hémimorphie*. On peut faire dériver les formes hémimorphes des formes holoédriques en supposant que la moitié des faces d'un cristal,

celles qui se trouvent à l'une des extrémités d'un certain axe, sont supprimées, toutes les autres étant conservées. Cet axe, appelé *axe d'hémimorphie*, joue un rôle important relativement aux propriétés géométriques et physiques des cristaux hémimorphes.

Le cristal de calamine, représenté par la figure 30, offre un exemple caractéristique de l'hémimorphie; il présente aux deux extrémités de l'axe vertical des faces différentes.

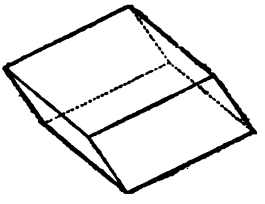


Fig. 29.

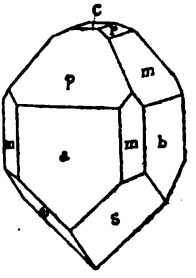


Fig. 30.

Tétartoédrie. — Les formes tétartoédriques s'obtiennent en soumettant une forme holoédrique à deux hémiédries différentes. Comme ces formes n'ont que le quart des faces des holoèdres dont elles dérivent, tout holoèdre doit donner quatre formes tétartoédriques, qui se divisent nettement en deux couples : les tétartoèdres droits et les tétartoèdres gauches; les premiers comme les derniers ne se distinguent entre eux que par une différence de position : par la rotation de l'un d'eux, d'un certain angle, les deux tétartoèdres droits comme les deux tétartoèdres gauches, deviennent superposables; mais un tétartoèdre gauche et un droit sont énantiomorphes entre eux : ils sont l'un à l'autre ce que la main gauche est à la main droite. Les deux tétartoèdres droits et les deux tétartoèdres gauches sont distingués entre eux par les attributs *positif* et *négatif*; on a donc un tétartoèdre droit positif, un tétartoèdre droit négatif, etc.

Formes simples. — Prenons un cristal quelconque, envisageons l'une de ses faces, et déterminons les autres faces qui en vertu de la symétrie du groupe auquel le cristal appartient doivent coexister avec la première : les faces ainsi obtenues constituent avec la face primitivement envisagée, un ensemble qu'on désigne sous le nom de *forme simple,* ou par abréviation, de *forme.*

Ainsi, dans le système monoclinique où il n'y a qu'un seul plan de symétrie, une face oblique à ce plan du cristal considéré demandera d'abord sa symétrique par rapport au plan; puis les deux faces ainsi obtenues en demanderont deux autres qui leur sont parallèles, puisque le cristal est limité par des couples de faces parallèles. Dans ce cas une forme simple est donc constituée par quatre faces. Il est aisé de voir que, sauf pour quelques formes dont les faces ont une position spéciale, plus la symétrie est grande, plus le nombre des faces qu'elle exige doit augmenter; ainsi les formes du système triclinique qui ne possèdent aucun plan de symétrie ne comportent que des

couples de faces parallèles, tandis que la forme la plus générale du système cubique se compose de 48 faces.

Combinaisons. — Les cristaux qui ne présentent qu'une seule forme sont relativement rares; on observe ordinairement deux ou plusieurs formes réunies, et l'on désigne alors l'ensemble de ces formes sous le nom de *combinaison*.

Comme le degré de symétrie d'un corps cristallisé ne dépend que de la nature des particules cristallines, il est évident que les différentes formes développées sur un même cristal doivent toujours appartenir à la même classe de symétrie.

En outre, il n'est pas moins évident que les angles et les arêtes d'une forme donnée, qui se correspondent au point de vue de la symétrie, doivent être affectés de la même façon par une autre forme qui entre en combinaison avec la première. Pour se faire une idée de la combinaison de deux formes simples, on place ces deux formes dans une position telle que les éléments

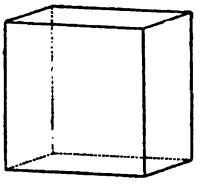


Fig. 31.

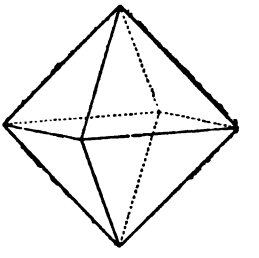


Fig. 32.

de symétrie qui se correspondent aient la même orientation (c'est ce qu'on appelle la *position parallèle),* puis on suppose que les formes, dans leur position parallèle, se compénètrent mutuellement. La figure 31 représente un cube, et la figure 32 un octaèdre en position parallèle; de

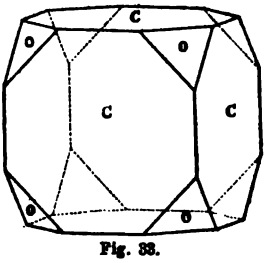


Fig. 33.

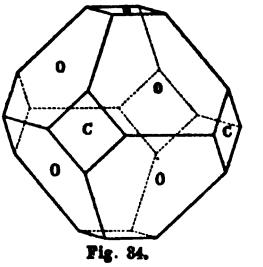


Fig. 34.

leur développement simultané résultent deux combinaisons d'aspect différent selon que les faces du cube (fig. 33) ou celles de l'octaèdre (fig. 34) prédominent. La forme dont les faces prédominent est appelée *forme*

dominante. Si aucune des formes combinées ne l'emporte sur l'autre on dit que les formes sont *en équilibre* (fig. 35).

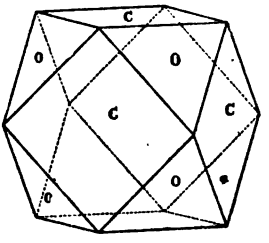


Fig. 35.

Modifications. — Quand deux formes simples entrent en combinaison, les faces de l'une d'elles apparaissent sous forme de *modifications* ou *troncatures* sur les arêtes ou sur les angles de l'autre forme.

Une modification sur une arête peut se présenter sous deux aspects différents, selon que l'arête modifiée est remplacée par une ou par deux faces : dans le premier cas (troncature proprement dite) représenté par la figure 36, il convient encore de distinguer la *troncature normale* ou *symétrique* où la face tronquante est *tangente* à l'arête et forme, par conséquent, le même angle avec les deux faces adjacentes, et la *troncature oblique* ou *dissymétrique* où la face tronquante est inclinée sous un angle quelconque sur les faces de l'arête envisagée.

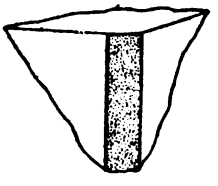


Fig. 36.

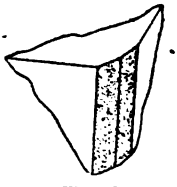


Fig. 37.

Dans les cas où une arête est remplacée par deux faces nouvelles, on dit qu'elle est *biseautée* (fig. 37). Les deux faces formant biseau peuvent être disposées de deux manières différentes : ou bien elles forment, de part et d'autre, des angles égaux avec les faces dont elles remplacent l'arête (biseau symétrique), ou bien elles sont inclinées différemment sur ces deux faces (biseau dissymétrique).

Les modifications sur les angles sont également de deux espèces : un angle

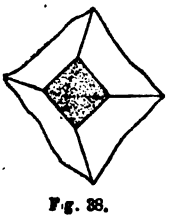


Fig. 38.

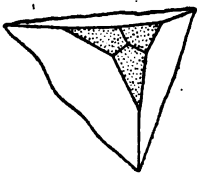


Fig. 39.

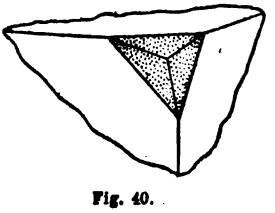


Fig. 40.

peut être remplacé soit par une seule face (fig. 38) (troncature proprement dite), soit par deux faces ; si un angle solide fait place à un biseau on dit que l'angle est *biseauté*.

Un angle solide peut encore être modifié par un autre angle solide ; si, dans ce cas, les deux angles possèdent le même nombre de faces, la tronca-

ture offre deux aspects différents, selon que les faces du dernier angle se superposent aux arêtes (fig. 39) ou aux faces (fig. 40) du premier.

Déformations des cristaux. — On enseigne en géométrie que les faces d'un cube sont situées à la même distance d'un point placé à l'intérieur du solide et nommé *centre du cube;* ou, ce qui revient au même, que les six faces sont des carrés parfaits. Cette condition n'existe pas en cristallographie; en effet, comme une face peut être déplacée parallèlement à elle-même tout en conservant sa valeur cristallographique, un solide auquel les mathématiciens donneraient le nom de *parallélipipède droit*, porte en cristallographie le nom de cube, si le cristal considéré appartient au système cubique. Si l'on veut faire ressortir la différence entre un solide de ce genre et un cube proprement dit on l'appelle *cube déformé.*

Presque tous les cristaux, tant artificiels que naturels, sont déformés; de sorte que les cristaux réguliers, dits *de forme idéale,* où les faces de la même forme se trouvent à la même distance du centre, sont extrêmement rares. Les déformations peuvent se faire de la manière la plus capricieuse, et donnent souvent aux cristaux une apparence toute différente de celle qu'ils auraient à l'état normal; mais on arrive rapidement à l'aide du goniomètre à déceler

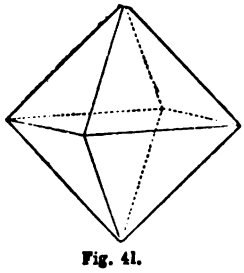


Fig. 41.

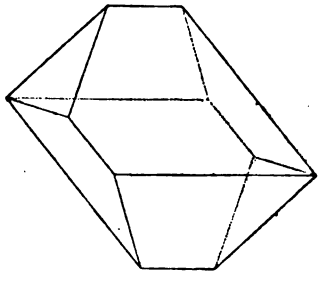


Fig. 42.

la véritable nature de la forme. La figure 41 représente un octaèdre de Spinelle, qui est presque toujours déformé comme le montre la figure 42.

Ajoutons que les figures cristallographiques représentent ordinairement des formes et combinaisons non déformées.

Axes et Paramètres. — La notion de la symétrie offre un moyen facile pour reconnaître à quel système le cristal appartient, mais pour pousser l'étude plus loin et se rendre compte de la position des faces qui limitent le cristal, ainsi que des relations qu'elles présentent entre elles, on a recours à un procédé emprunté à la géométrie analytique.

Supposons à l'intérieur du cristal trois plans parallèles à trois faces formant, directement ou par leur prolongement, un angle solide; le choix de

ces plans étant d'ailleurs déterminé par la symétrie du cristal. Ces trois plans désignés ordinairement par *a*, *b*, *c* (fig. 43) se coupent suivant trois arêtes auxquelles les *axes* XX', YY', ZZ' menés par un même point O sont parallèles. Une face quelconque *p* que l'on suppose développée dans tous les sens

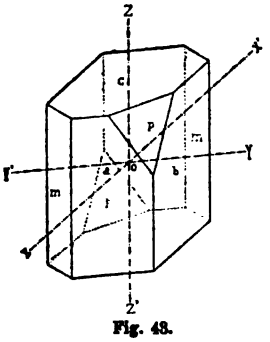


Fig. 43.

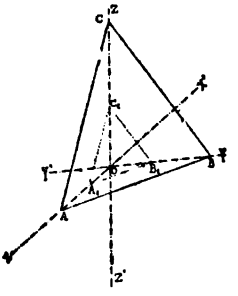


Fig. 44.

et située dans l'angle solide OXYZ, ira couper (fig. 44) les axes à des distances OA, OB, OC. Ces trois distances qui déterminent sa position sont appelées les *paramètres* de la face par rapport au système d'axes qu'on aura choisi. En cristallographie il n'est nullement nécessaire de connaître la valeur absolue de ces paramètres, mais seulement leur rapport : OA : OB : OC. Supposons, en effet, que la face $A_1B_1C_1$ (fig. 44) qui coupe les axes en A_1, B_1, C_1 ait la même direction que la face ABC, ou, ce qui revient au même, soit parallèle à cette face; les lignes A_1B_1, B_1C_1, C_1A_1 seront respectivement parallèles à AB, BC, CA, et la similitude des triangles OA_1B_1, OAB, etc. nous conduit aux rapports $OA : OA_1 = OB : OB_1 = OC : OC_1$, ou $OA : OB : OC = OA_1 : OB_1 : OC_1$. Le rapport des distances interceptées sur les trois axes par des faces de même direction est donc toujours le même, et suffit seul à déterminer cette direction. Or, en cristallographie on ne considère que la direction des faces et non leur position absolue : toutes les faces parallèles situées dans un même angle solide OXYZ ont même valeur cristallographique et doivent être représentées par le même symbole. Il suffit donc de connaître le rapport OA : OB : OC pour que la face *p* soit complètement déterminée.

Il est bien entendu que l'on doit tenir compte, dans ce rapport, de la direction des axes sur lesquels les paramètres sont interceptés. En général on prend comme positives les directions OX, OY, OZ, et comme négatives les directions opposées OX', OY', OZ'. Lorsqu'un paramètre se rapporte à une direction d'axe négative on place le signe — au-dessus des lettres qui le représentent, et on admet que les paramètres qui ne portent pas de signe sont interceptés sur les branches positives des axes envisagés. Ainsi une face située dans l'angle solide OXY'Z

et interceptant sur les trois axes les mêmes longueurs relatives que la face p aurait le rapport OA : $\overline{\text{OB}}$: OC puisque la direction OY′ est négative.

Il résulte de ce qui précède que le rapport OA : OB : OC peut être considéré comme un symbole de la face p; si, mesurés par rapport à une unité quelconque, OA $= a$, OB $= b$, OC $= c$, on peut dire aussi que $a : b : c$ est le symbole de la face considérée. L'habitude a prévalu de prendre pour unité l'un des paramètres, généralement b, et de s'en servir pour la mesure des deux autres paramètres; le rapport des paramètres est alors $\frac{a}{b} : 1 : \frac{c}{b}$ ou $a' : 1 : c'$, si $\frac{a}{b} = a'$ et $\frac{c}{b} = c'$. Il est aisé de voir que le rapport paramétrique OA : OB : OC $= a : b : c$, peut être multiplié ou divisé par un nombre rationnel sans que la direction de la face dont il représente le symbole soit affectée. En effet, si r est un nombre rationnel, la face représentée par $ra : rb : rc$ sera simplement une face parallèle à p, puisque $a : b : c = ra : rb : rc$; elle sera donc identique à p au point de vue cristallographique.

Les plans qu'on mène à l'intérieur du cristal pour déterminer les axes se nomment *plans d'axes*. Il n'est pas nécessaire qu'ils existent réellement sur le cristal considéré; il faut seulement qu'ils soient possibles, c'est-à-dire que leur existence ne se trouve pas en contradiction avec la loi des paramètres dont il sera question dans un des paragraphes suivants.

Choix des axes. — On peut choisir n'importe quelles faces d'un cristal pour plan d'axes, et pour axes les arêtes suivant lesquelles ces faces se coupent; mais on conçoit facilement que s'il existe des plans de symétrie ceux-ci doivent être choisis de préférence pour fixer les éléments du cristal. Comme trois lignes fixes suffisent pour déterminer la position d'un plan dans l'espace par ses paramètres, on se contente toujours de trois axes. Dans le système hexagonal cependant il est utile de considérer quatre axes pour faire ressortir la symétrie spéciale de ce système.

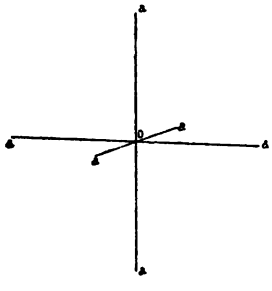


Fig. 45.

Dans le *système cubique* les trois axes qui sont perpendiculaires aux trois plans de symétrie principaux (faces du cube) sont naturellement désignés comme axes cristallographiques; ces axes se coupent à angle droit (fig. 45).

Dans le *système hexagonal* l'axe cristallographique vertical coïncide avec l'axe principal, tandis que trois axes horizontaux, perpendiculaires à trois

plans de symétrie secondaires, et se coupant sous des angles de 60° constituent les autres axes (fig. 46).

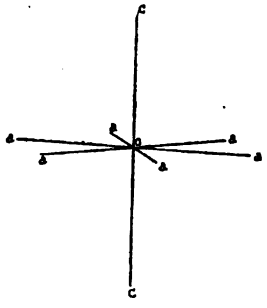


Fig. 46.

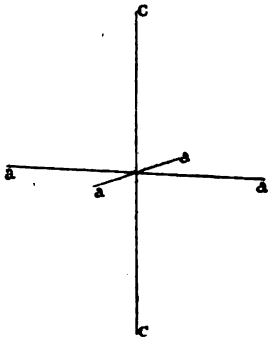


Fig. 47.

Pour le système tétragonal on choisit l'axe principal comme axe vertical, et deux axes horizontaux perpendiculaires à deux plans de symétrie secondaires, se coupant à angle droit, comme axes horizontaux (fig. 47).

Les trois axes perpendiculaires aux trois plans de symétrie du *système rhombique* sont identiques aux trois axes cristallographiques (fig. 48).

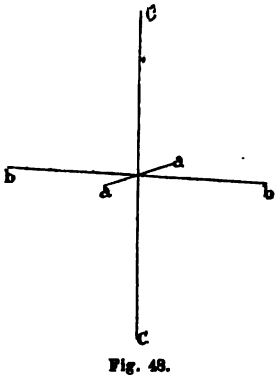


Fig. 48.

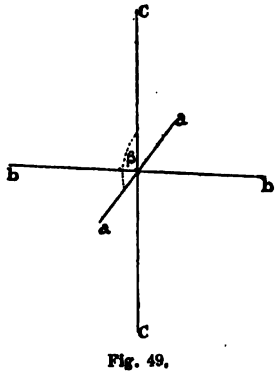


Fig. 49.

Pour le *système monoclinique* on prend comme axe de front l'axe qui est perpendiculaire au plan de symétrie, les deux autres sont des arêtes possibles convenablement choisies dans le plan de symétrie. Les angles que l'axe de front fait avec les deux autres axes sont toujours égaux à 90°, tandis que l'angle β formé par les deux derniers axes (axe vertical et axe de profil), est variable avec les différents minéraux et doit être indiqué pour chacun d'eux (fig. 49).

Dans le *système triclinique* qui est dépourvu de plans de symétrie, on prend pour axes trois arêtes quelconques mais possibles. Les trois

angles α, β, γ que ces axes font entre eux dépendent de la nature du minéral; ils doivent être déterminés pour chacun des minéraux cristallisant dans ce système (fig. 50).

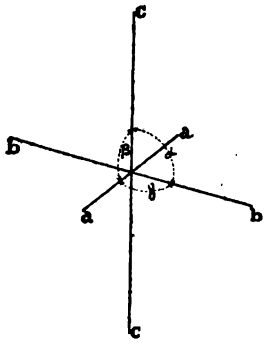


Fig. 50.

Loi des paramètres. Rapport des axes. — Nous avons reconnu que le rapport des paramètres interceptés par une face quelconque sur les trois axes cristallographiques fixes, nous offre un moyen très-simple de déterminer la position de cette face. Supposons maintenant qu'après avoir mesuré au goniomètre les angles dièdres d'un cristal quelconque, nous ayons calculé les rapports paramétriques de toutes ses faces; un examen attentif de l'ensemble de ces rapports ne tarderait pas à nous révéler un fait bien remarquable : l'existence de relations très-étroites entre les différents rapports paramétriques. En effet, en choisissant pour *face fondamentale* une des faces qui ne sont parallèles à aucun des trois axes et en représentant son rapport paramétrique par l'expression $a : b : c$, on constatera que les rapports paramétriques de toutes les autres faces peuvent être représentés sous la forme $ma : nb : pc$, où m, n et p sont des nombres rationnels et généralement très simples. L'∞ est compté parmi les nombres rationnels. Nous voyons donc qu'outre la loi de la constance des angles, les faces d'un cristal sont soumises à une autre loi non moins importante, qui lie entre eux tous leurs paramètres et qu'on exprime comme suit : *si la proportion* a : b : c *est le rapport paramétrique d'une face quelconque, celui de chacune des autres faces du même cristal sera représenté par une proportion telle que* ma : nb : pc *où les coëfficients* m, n *et* p *sont des nombres rationnels.*

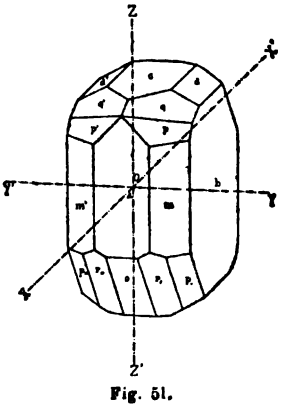


Fig. 51.

Un rapport tel que $ua : vb : wc$, où u, v, w sont des quantités irrationnelles comme $\sqrt{2}$, sin 20° etc. ne peut correspondre à une face possible du cristal. Une face de ce genre serait donc cristallographiquement impossible, tandis que toute face qui obéit à la loi des paramètres doit être considérée comme possible au point de vue cristallographique.

Appliquons ce que nous venons de dire. Soit (fig. 51) un cristal monoclinique; menons par son centre O trois plans parallèles aux faces a, b, c, et prenons leurs arêtes comme axes OX, OY, OZ; si alors la face p possède le

rapport paramétrique OA : OB : OC $= a : b : c$ (fig. 52), on trouvera les paramètres de la face q en la déplaçant parallèlement à elle-même, jusqu'à ce qu'elle passe par le point B sur l'axe OY (fig. 52) : on remarquera qu'elle coupe alors OX en A_1 et OZ en C_1 de sorte que $OA_1 = \frac{3}{2}$ OA et $OC_1 = \frac{1}{2}$ OC;

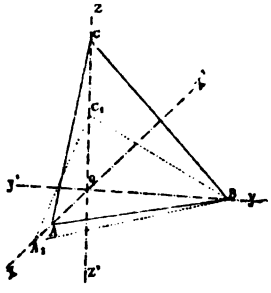


Fig. 52.

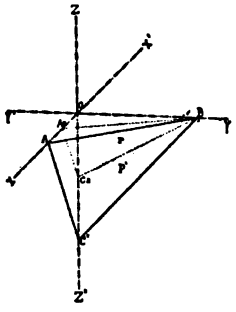


Fig. 53.

son rapport paramétrique est donc $\frac{3}{2}a : b : \frac{1}{2}c$ ce qui, multiplié par 2, devient $3a : 2b : c$.

La face p' dont les paramètres sont OA, OB, $\overline{OC}'$ (fig. 53) a pour rapport paramétrique $a : b : \bar{c}$.

Si la face r est déplacée parallèlement à elle-même jusqu'à ce qu'elle passe par B, elle coupera les axes XX′ ZZ′ aux distances $OA_2 = \frac{3}{2}a$, $OC_2 = -\frac{3}{2}c$, d'où résulte le rapport ~~$2a : b : 2\bar{c}$~~. $a : 2b : \bar{c}$

On verrait de même que la face m répond au rapport $a : b : \infty c$.

Ces exemples montrent que les coëfficients sont des nombres rationnels. On peut même dire que les coëfficients sont des nombres entiers 1, 2, 3..., puisque la multiplication des coëfficients par leur dénominateur commun revient à un simple déplacement parallèle de la face envisagée, permis en cristallographie comme nous l'avons vu plus haut.

Le rapport paramétrique $a : b : c$ de la face fondamentale qu'on a choisie se déduit des mesures opérées au goniomètre, il constitue avec l'indication des angles que font entre eux les axes choisis, ce que l'on appelle le ***rapport des axes***, ainsi nommé pour le distinguer du rapport paramétrique d'une face quelconque. Il est clair que le cristallographe peut choisir arbitrairement pour face fondamentale une quelconque des faces existantes ou possibles, qui tronquent tous les axes; cependant on conçoit facilement qu'il faut prendre en considération la simplicité plus ou moins grande des nombres m, n, p, dans les rapports $ma : nb : pc$, ainsi que les rapports qui existent entre la forme cristalline du minéral envisagé et celle d'autres minéraux qui s'en rapprochent au point de vue chimique. Il est démontré que, sauf pour les cristaux du système cubique, chaque substance cristallisée, chimiquement individualisée, possède un rapport déterminé des axes qui la caractérise, ~~et la distingue de toute substance de composition différente.~~

Le rapport des axes prend une forme un peu différente dans les différents systèmes cristallins : pour les quatre premiers systèmes les angles compris entre les axes cristallographiques sont connus aussitôt qu'on connaît le système dont il s'agit ; pour fixer le rapport des axes il ne faut donc qu'indiquer le rapport des longueurs interceptées sur les axes par la face fondamentale. Dans les systèmes monoclinique et triclinique, au contraire, cette indication ne suffit pas ; pour que le rapport des axes d'un cristal monoclinique soit complètement déterminé on doit donner outre le rapport paramétrique de la face fondamentale, l'angle β (l'angle entre l'axe vertical et l'axe de profil); et pour un cristal triclinique il faut indiquer en outre la valeur des angles α et γ.

L'usage a prévalu de prendre pour unité, dans le rapport paramétrique de la face fondamentale, le paramètre se rapportant à l'un des axes horizontaux, et de s'en servir pour la mesure des autres; ainsi, par exemple, au lieu d'écrire le rapport paramétrique de la face fondamentale d'un cristal rhombique sous la forme $a : b : c$ on divise par b et on obtient : $\frac{a}{b} : 1 : \frac{c}{b}$; si $\frac{a}{b} = a'$ et $\frac{c}{b} = c'$, on a le rapport : $a' : 1 : c'$ dans lequel un des trois paramètres est égal à l'unité.

Types de faces. — Les faces ont avec les axes des rapports qui permettent de les ramener à trois types, suivant qu'elles coupent un, deux ou trois axes.

1° On nomme *faces de pyramides* celles qui coupent trois axes, elles ont trois paramètres finis. Le rapport des paramètres est $ma : nb : pc$. Dans la fig. 51 p, q, p', r sont des faces de pyramide.

2° On désigne sous le nom de *faces de prismes* celles qui sont parallèles à un axe et qui coupent les deux autres; telle est la face m (fig. 51). Chaque face de prisme n'a que deux paramètres finis, le troisième est considéré comme infiniment grand. Ainsi toutes les faces de prismes parallèles à l'axe vertical ZZ', comme m par exemple, sont déterminées par le rapport $ma : nb : \infty c$. Ces prismes sont dits *prismes verticaux*. Les prismes parallèles à l'axe XX' (d, fig. 51) ou *prismes de profil* sont déterminés par le rapport $\infty a : nb : pc$. Enfin les prismes parallèles à l'axe YY' (fig, 51) ou *prismes de front* sont déterminés par le rapport $ma : \infty b : pc$.

3° Les *faces terminales* sont parallèles à deux axes, et n'ont, par suite, qu'un seul paramètre fini, les autres étant ∞. Ces faces sont respectivement parallèles aux trois plans d'axes; on les distingue comme *face terminale de front* (a, fig. 51) dont le rapport paramétrique est $a : \infty b : \infty c$, *face terminale de profil* (b, fig. 51) avec le rapport paramétrique $\infty a : b : \infty c$, et enfin *face terminale proprement dite* ou *base* (c, fig. 51) qui a pour rapport paramétrique $\infty a : \infty b : c$.

Ces trois types ont entre eux des relations qui deviennent évidentes si l'on considère que dans la notation générale d'une face de pyramide $ma : nb : pc$ les notations des autres types de faces sont comprises.

En effet, si dans cette notation la valeur de p s'accroît, on obtient des pyramides qui s'élèvent de plus en plus suivant l'axe OZ; et pour $p = \infty$ on a un prisme vertical $\{ ma : nb : \infty c \}$. Si n augmente jusqu'à égaler l'∞ on obtient les prismes de front $\{ ma : \infty b : pc \}$. Enfin pour $m = \infty$ on a les prismes de profil $\{ \infty a : nb : pc \}$.

Reprenons la formule générale d'une face de prisme vertical ($ma : nb : \infty c$); en supposant que n s'accroît de plus en plus, on arrive à une face de prisme vertical qui se rapproche graduellement d'un plan parallèle aux axes ZZ', YY', et lorsque $n = \infty$ on obtient ce plan lui-même, qui est une face terminale de front ayant pour symbole ($ma : \infty b : \infty c$).

Par une dérivation analogue les deux autres prismes donnent respectivement une face terminale de profil et une face terminale proprement dite ou *base*.

La notation $ma : nb : nc$ ne désigne, en première instance, qu'*une seule* face; mais si l'on combine tous les paramètres positifs et négatifs de même valeur absolue, on obtient la notation des *huit* faces d'une double pyramide (fig. 54). On peut convenir de représenter toute la pyramide par la notation $\{ ma : nb : pc \}$ en se servant d'accolades { }. Si l'on ne veut désigner qu'une seule face par un signe, on se sert de parenthèses ( ).

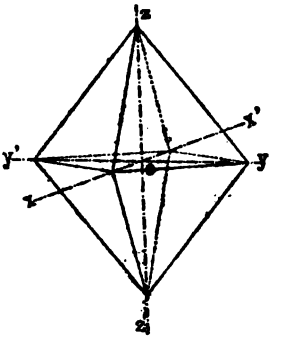


Fig. 54.

Notation. — La loi des paramètres et la notion de symétrie permettent de décrire un cristal au moyen d'une notation courte et précise.

On commence par indiquer :

1° Le degré de symétrie du cristal.

2° Les angles que font les axes si leur valeur n'est pas donnée déjà par la symétrie.

3° Le rapport paramétrique $a : b : c$ de la face fondamentale.

L'ensemble des indications 2° et 3° constitue ce que nous avons appelé le *rapport des axes*.

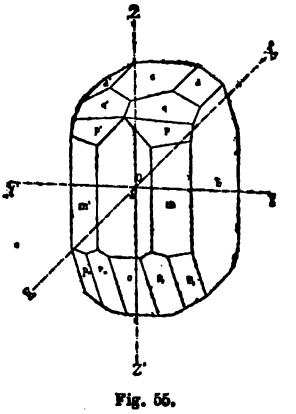


Fig. 55.

4° La direction de chaque face peut être donnée ensuite en la notant à l'aide des coëfficients m, n, p dont on cherche les valeurs numériques.

Reprenons le cristal monoclinique (fig. 55) déjà envisagé; on peut déduire

de la symétrie du cristal que l'axe YY′ forme avec les deux autres axes un angle de 90°, tandis que les axes XX′, ZZ′ qui sont dans le plan de symétrie forment en avant un angle β qui est différent de 90°. Soit $a : b : c$ le rapport paramétrique de la face p, que nous considérons comme face fondamentale : on peut dès lors déterminer la valeur numérique des coëfficients de chacune des faces :

$$\left\{\begin{array}{l} p = a : b : c;\ p' = a : \bar{b} : c;\ p_{,} = a : b : \bar{c};\ p_{,,} = a : \bar{b} : \bar{c} \\ q = \frac{3}{2}a : b : \frac{1}{2}c = 3a : 2b : c;\ q' = \frac{3}{2}a : \bar{b} : \frac{1}{2}c = 3a : \overline{2b} : c \\ r_{,} = 2a : b : \overline{2c};\ r_{,,} = 2a : \bar{b} : \overline{2c} \end{array}\right\} \text{faces de pyramide.}$$

$$\left\{\begin{array}{l} m = a : b : \infty c;\ m' = a : \bar{b} : \infty c \\ d = \infty a : b : \frac{1}{2}c = \infty a : 2b : c;\ d' = \infty a : \bar{b} : \frac{1}{2}c = \infty a : \overline{2b} : c \\ o = a : \infty b : \bar{c} \end{array}\right\} \text{faces de prisme.}$$

$a = a : \infty b : \infty c;\ b = \infty a : b : \infty c;\ c = \infty a : \infty b : c$ faces terminales.

Ce mode de notation qui indique les faces par des symboles comme ceux que nous venons d'employer, est dû à Weiss. Dans cette notation le symbole d'une face est donné par le rapport des paramètres dont les coëfficients sont ordinairement transformés en nombres entiers.

D'autres notations encore sont en usage; elles dérivent toutes de la considération des paramètres et de leur rapport. Nous ne nous arrêterons qu'au mode de notation dû à Miller, qui est le plus commode pour le calcul et nous nous en servirons exclusivement dans cet ouvrage. Miller supprime d'abord les lettres a, b, c qui désignent le rapport paramétrique de la face fondamentale dans la notation de Weiss. En effet, une fois le rapport des axes déterminé, et la règle établie que le premier coëfficient se rapporte à l'axe de profil, le second à l'axe de front et le troisième à l'axe vertical, il est complètement inutile de compliquer la notation par l'adjonction des lettres a, b, c. Ainsi, au lieu de donner à la face q la notation $3a : 2b : c$ on peut écrire simplement $3 : 2 : 1$ ou encore 321. De cette façon les symboles deviennent d'une très grande simplicité; mais afin qu'ils se prêtent facilement au calcul, il est préférable de prendre, au lieu des valeurs directes des coëfficients, leurs valeurs inverses. On obtient ainsi des fractions qu'on réduit au même dénominateur, et en se rappelant, comme nous l'avons vu plus haut, qu'on peut multiplier ou diviser un rapport paramétrique par des nombres rationnels, on multiplie par leur dénominateur les fractions obtenues, opération qui transforme ces fractions en nombres entiers auxquels on donne le nom de *caractéristiques* ou d'*indices* de la face envisagée. Prenons pour exemple les valeurs inverses des coëfficients de la face q; nous aurons $\frac{1}{3} : \frac{1}{2} : \frac{1}{1}$; ces fractions réduites au même dénominateur 6, donnent : $\frac{2}{6} : \frac{3}{6} : \frac{6}{6}$, et en multipliant par 6 nous trouvons les *indices* 236 de cette face. Autre exemple : la face m a les coëfficients

$1:1:\infty$, les valeurs inverses sont : $\frac{1}{1}:\frac{1}{1}:0$ ce qui donne pour m les indices 110. Enfin la face p a les coëfficients $1:1:1$ avec lesquels les valeurs inverses se confondent, de sorte que 111 sont les indices de la face fondamentale.

Nous avons vu que si l'on ne considère qu'une certaine face séparément, on met ses indices entre parenthèses ( ), mais que s'il s'agit de la *forme*, c'est-à-dire de l'ensemble des faces qui se déduisent de la face envisagée en vertu de la symétrie du cristal, on fait usage d'accolades { } au lieu de parenthèses : (236) représente la face q seule, tandis que {236} embrasse les faces (236), $(2\bar{3}6)$, $(\bar{2}\bar{3}\bar{6})$ et $(\bar{2}3\bar{6})$ déduites de l'existence de la face (236) par la considération de la symétrie monoclinique.

Il est facile de voir comment on doit procéder pour trouver les paramètres d'une face donnée quand ses indices et le rapport des axes sont connus. Les indices de q sont 236, leurs valeurs inverses $\frac{1}{2}:\frac{1}{3}:\frac{1}{6}$, ou $\frac{3}{6}:\frac{2}{6}:\frac{1}{6}$, fractions qui, multipliées par 6, nous donnent $3:2:1$, c'est-à-dire les coëfficients de la face, d'où résulte immédiatement son rapport paramétrique $3a:2b:c$.

Si l'on remplace ici a, b, c par leur valeur numérique on obtient les paramètres de la face q.

Ajoutons qu'on désigne sous le nom de *faces primaires* les faces dont les indices ne renferment que 1 et 0. Telles sont, dans l'exemple choisi, les faces $a=(100)$, $b=(010)$, $c=(001)$, $m=(110)$, $m'=(1\bar{1}0)$, $o=(10\bar{1})$, $p=(111)$, $p'=(1\bar{1}1)$, $p_{,}=(11\bar{1})$, $p_{,,}=(1\bar{1}\bar{1})$.

On remarque que les indices des faces terminales contiennent deux 0 et ceux des faces de prisme un 0.

× Envisageons sous la forme (hkl), comme on le fait d'habitude, le symbole général, d'après Miller, d'une face appartenant à un cristal d'un des systèmes à trois axes. Soit $ma:nb:pc$ la notation de la même face d'après Weiss. On déduit de ce que nous avons dit plus haut, que $\frac{1}{m}:\frac{1}{n}:\frac{1}{p}=h:k:l$, ou $\frac{np}{mnp}:\frac{pm}{mnp}:\frac{mn}{mnp}=h:k:l$, ou enfin $np:pm:mn=h:k:l$, d'où suit $m:n:p=kl:lh:hk$. Ces deux dernières formules donnent la transformation directe des coëfficients de Weiss en indices de Miller, et réciproquement. Pour la face q nous avons : $m=3$, $n=2$, $p=1$; donc $np:pm:mn=2:3:6=(236)$. Par contre, le symbole de q est (236), donc $h=2$, $k=3$, $l=6$, ou $kl:lh:hk=18:12:6=3:2:1$, d'où suit $m=3$, $n=2$, $p=1$.

$h:k:l = Kl:kl$

Zones. — Les calculs sont souvent simplifiés si le cristal possède une ou plusieurs séries de faces parallèles à une même direction. L'ensemble de ces faces est désigné en cristallographie sous le nom de *zone*. L'*axe de zone* est la direction commune à laquelle les faces sont parallèles.

On peut reconnaître immédiatement, à l'aide du goniomètre à réflexion, toutes les faces qui font partie d'une même zone.

En effet, si l'on fait opérer au cristal une rotation complète autour de l'axe de la zone, un objet lumineux donné sera réfléchi successivement par chacune des faces de la zone, et l'observateur verra l'image de cet objet en un seul et même point pour toutes les faces.

On reconnaît une zone, sans l'aide du goniomètre, par le fait que ses faces suffisamment prolongées se coupent suivant des arêtes parallèles.

Puisque deux faces qui se coupent fixent la position d'une arête, une zone sera fixée dès qu'on aura la position de deux de ses faces non parallèles. Dans la figure 56, m, m', m'' forment une zone; P, m', z, en forment une autre etc.

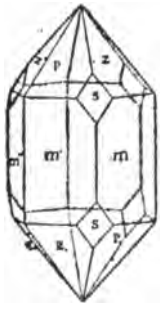


Fig. 56.

Une face faisant partie de deux zones est complètement déterminée par ce fait même, car elle est, en effet, parallèle à deux droites qui se coupent, les axes des zones, et par suite sa direction est déterminée. Ainsi dans la figure 56 la face s est complètement déterminée par les zones P : m, z : m'.

Dans tous les systèmes les faces qui ont les paramètres les plus simples, et plus particulièrement les *faces primaires*, sont réunies par les zones qui sont les plus faciles à observer.

Un exemple nous montrera tout le parti qu'on peut tirer des remarques précédentes. La fig. 57 représente une combinaison de quatre formes simples du système cubique, désignées par les lettres o, c, d et i. Supposons que les quatre faces o visibles dans la figure soient des faces de l'octaèdre, forme fondamentale du système cubique; ces faces coupent à égale distance les trois axes cristallographiques perpendiculaires aux faces c, les rapports paramétriques et les indices de ces faces sont donc :

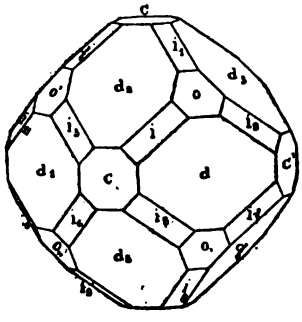


Fig. 57.

$o = a : a : a = (111)$; $o' = a : \bar{a} : a = (1\bar{1}1)$; $o_{,} = a : a : \bar{a} = (11\bar{1})$; $o_{,,} = a : \bar{a} : \bar{a} = (1\bar{1}\bar{1})$.

Cela posé, la position de toutes les autres faces de la même figure se laisse déduire simplement à l'aide des zones. En effet, la face c est située dans les deux zones $oo_{,,}$ et $o'o_{,}$; elle est donc déterminée; il en est de même pour les autres faces c; ainsi, par exemple, la face c' fait partie des zones $o'o$ et $o_{,}o_{,,}$.

Les faces c étant déterminées, on peut procéder à la même opération pour les faces d; on trouvera pour chacune d'entre elles deux zones qui fixent sa position; la face d, par exemple, appartient aux zones $oo_{,}$ et cc'. Enfin, la position des faces d étant connue, les faces i se trouveront aussi chacune

dans deux zones déterminées; ainsi, la face i est située dans les zones oc et d_2d.

Il est clair que si au lieu des faces o, nous avions supposé connues les faces d ou i, nous aurions procédé d'une manière analogue pour déterminer la position des faces inconnues.

Lois des zones. — Soient dans la fig. 58 les droites OX, OY, OZ, les trois axes d'un cristal, et les faces H, K, L, et H′, K′, L′ avec les symboles (hkl) et $(h'k'l')$ deux faces non parallèles : la ligne Az suivant laquelle ces faces se coupent nous représente l'axe de la zone formée par ces faces. Menons par O une ligne parallèle à Az, et déterminons un point quelconque Q de cette ligne par ses coordonnées OM, ON, OP. Une déduction fort simple de géométrie élémentaire démontre l'existence de la relation suivante :

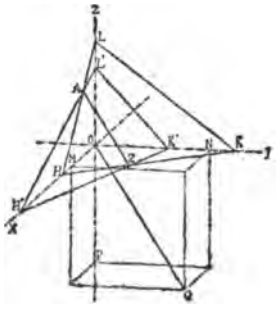


Fig. 58.

$$OM : ON : OP = (kl' - lk')a : (lh' - hl')b : (hk' - kh')c,$$

où a, b, c sont les paramètres de la face fondamentale par rapport à laquelle les indices (hkl), $(h'k'l')$ ont été déduits. En posant $(kl' - lk') = u$, $(lh' - hl') = v$, $(hk' - kh') = w$ nous avons : $OM : ON : OP = ua : vb : wc$.

Les nombres u, v, w qu'on désigne sous le nom *d'indices de zone*, sont des nombres rationnels par suite de la rationnalité de hkl, $h'k'l'$; multipliés respectivement par $a : b : c$ ils déterminent le point Q et par cela même la ligne OQ, c'est-à-dire l'axe de zone.

1° On peut obtenir facilement le symbole $[u, v, w]$ de la zone à laquelle appartiennent deux faces $(h\,k\,l)$ et $(h'k'l')$ en faisant la multiplication croisée :

$$\begin{array}{c|ccccccc|c} h & k & & l & & h & & k & l \\ & & \times & & \times & & \times & & \\ h' & k' & & l' & & h' & & k' & l' \end{array}$$

$$kl' - lk' = u$$
$$lh' - hl' = v$$
$$hk' - kh' = w$$

On fait la multiplication dans les sens indiqués par le schéma en tenant compte des signes des indices. Les indices de zone sont ordinairement mis entre crochets : $[u, v, w]$.

Pour les faces (111) et (123), par exemple, on a :

$$\begin{array}{c|ccccccc|c} 1 & 1 & & 1 & & 1 & & 1 & 1 \\ & & \times & & \times & & \times & & \\ 1 & 2 & & 3 & & 1 & & 2 & 3 \end{array}$$

$$3.1 - 1.2 = 1$$
$$1.1 - 3.1 = -2$$
$$1.2 - 1.1 = 1$$

d'où suit que $[1\,\bar{2}\,1]$ est le symbole de la zone.

2° Le symbole de la zone étant connu, on peut vérifier si une face quelconque est dans la zone, étant donné qu'une face (q, r, s) comprise dans la zone $[u, v, w]$ satisfait à l'équation $qu + rv + sw = o$. La face (432) qui est dans la zone $[1\,\bar{2}\,1]$ donne $4.1 + 3.\bar{2} + \bar{2}.1 = 0$.

3° Si une face est dans deux zones on obtient les indices de cette face en faisant la multiplication croisée des symboles des zones; pour les deux zones $[1\,\bar{2}\,1]$ et $[\bar{1}\,1\,2]$ par exemple, on a :

$$\begin{array}{c|cccc|c} 1 & \bar{2} & 1 & 1 & \bar{2} & 1 \\ & \times & \times & \times & & \\ \bar{1} & 1 & 2 & \bar{1} & 1 & 2 \\ & \multicolumn{4}{c}{(\bar{5}\quad \bar{3}\quad \bar{1})} & \end{array}$$

4° Si l'on additionne les indices de deux faces de même type on obtient ceux d'une face également inclinée sur les deux premières et qui tronque leur arête. L'arête des deux faces (hkl) et $(h\bar{k}l)$ par exemple, est tronquée normalement par la face $(h + h, k + \bar{k}, l + l) = (2h, o, 2l) = (hol)$. De même la face tronquant l'arête des faces (211) et (121) et qui est également inclinée sur ces deux dernières a pour indices (332).

Un exemple servira à montrer tout le parti qu'on peut tirer de ces lois.

Soit un cristal d'Orthose (fig. 59); il possède un plan de symétrie parallèle à la face b; l'axe YY′ est normal à ce plan de même que les faces qui déterminent les deux autres axes; ces faces sont, par suite, dans la zone c, y, x.

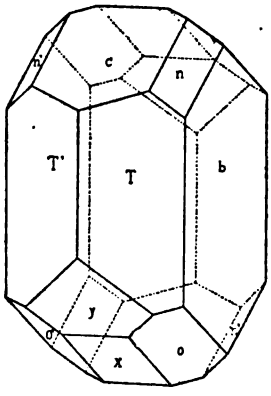


Fig. 59.

Choisissons c et une face possible a tronquant normalement l'arête TT′ comme face terminale proprement dite et face terminale de front, de sorte que nous avons : $a = (100)$, $b = (010)$, $c = (001)$.

L'axe XX′ est incliné sur la verticale d'un angle β déterminé par le calcul. Cet axe est parallèle à l'arête de combinaison $b : c$. L'axe YY′ est perpendiculaire au plan de symétrie, et l'axe ZZ′ est vertical, donc parallèle à l'arête T : b.

Choisissons o comme face de pyramide primaire, ses paramètres $a : b : c$ se déterminent par le calcul, ses indices sont $(11\bar{1})$; et, par conséquent les indices de o' (face symétrique de o par rapport à b) sont $(1\bar{1}1)$.

Cela posé, la connaissance des zones que forment les faces du cristal permet de déterminer sans calcul trigonométrique les indices de toutes les autres faces. Comme nous connaissons les indices des faces *a*, *b*, *c*, *o* et *o'*, nous connaissons aussi les zones *ca*, *ba*, *bo*, *co* et *co'*; la face *x* qui se trouve à la rencontre de deux de ces zones peut se déterminer facilement. On calcule d'abord, par la première loi, le symbole de chacune des deux zones, puis, appliquant la troisième loi, on obtient les indices de la face; on peut disposer les calculs de la manière suivante :

$$x \left\{ \begin{array}{l} \text{zone } ac \left\{ \begin{array}{c|cc|c} 1 & 00 & 10 & 0 \\ 0 & 01 & 00 & 1 \end{array} \right\} = [0\bar{1}0 \quad 0\bar{1}0] \\ \\ \text{zone } bo \left\{ \begin{array}{c|cc|c} 0 & 10 & 01 & 0 \\ 1 & 1\bar{1} & 11 & \bar{1} \end{array} \right\} = [\bar{1}0\bar{1} \quad \bar{1}0\bar{1}] \end{array} \right\} = (10\bar{1})$$

On arrive plus directement encore à ce résultat par la quatrième loi; en effet, comme la face *x* tronque normalement l'arête *o* : *o'* nous n'avons qu'à additionner membre par membre les indices de ces deux faces : $1+1$, $1+\bar{1}$, $\bar{1}+\bar{1}=2, 0, \bar{2}$; nous avons le symbole $(20\bar{2})$, qui peut être divisé par 2 et donne $(10\bar{1})$.

On détermine successivement d'une manière analogue les symboles des faces T, *y* et *n* qui se trouvent dans les zones connues (*a* : *b*) et (*c* : *o*); (T : *o'*) et (*a* : *x*); (*c* : *b*) et (T : *y*). On trouvera $T = (110)$; $T' = (1\bar{1}0)$; $n = (021)$; $n' = (0\bar{2}1)$; $y = (20\bar{1})$.

Il arrive quelquefois qu'on obtienne, par le calcul des zones, la face parallèle à celle qu'on cherche; ainsi on aurait pu trouver pour *x* les indices $(\bar{1}01)$ qui se rapportent à la face *x'* parallèle à *x*, et qui appartient évidemment aux mêmes zones; il suffit, dans ce cas, de multiplier les signes des indices par -1 pour obtenir le symbole de la face que l'on cherchait.

Projection stéréographique.— Afin de se rendre compte plus facilement de la disposition des faces ainsi que de l'ensemble des zones que présente un cristal, on suppose un cristal placé au centre d'une sphère et l'on mène des rayons normaux à toutes les faces; les points où ces rayons percent la surface de la sphère sont les *pôles* des faces et les déterminent complètement.

L'arc compris entre deux pôles mesure l'angle normal des faces correspondantes, c'est-à-dire, l'angle entre les deux rayons normaux aux faces considérées, angle supplémentaire de l'angle dièdre de ces faces. Les pôles de toutes les faces en zone se trouvent sur un même grand cercle (cercle de zone) de la sphère. Ainsi, par exemple, dans la figure 56 les faces *m*, *m'*, *m''*... qui forment une zone ayant pour axe une ligne parallèle aux arêtes de ces faces,

ont leurs normales situées dans un même plan, puisque ces normales sont toutes perpendiculaires à l'axe de la zone; ce plan passe par le centre de la sphère et coupe sa surface suivant un grand cercle.

Les pôles et les cercles de zone tracés sur la sphère donnent donc une représentation exacte de la disposition des faces et de leur distribution en zones; il reste à trouver un moyen commode pour obtenir une épure plane de l'ensemble des pôles. A cet effet on a ordinairement recours à la projection stéréographique : on prend pour plan de projection un plan qui est perpendiculaire à une zone principale du cristal, on suppose ce plan passant par le centre de la sphère de sorte qu'il coupe celle-ci suivant un grand cercle, appelé ***cercle fondamental*** FD (représenté par une ellipse, fig. 60). Le diamètre normal au plan de projection perce la sphère en deux points A et A', qui sont à la distance angulaire de 90° de tous les points du cercle fondamental; de l'un de ces points, A par exemple, appelé ***point de vue***, on suppose des droites menées à tous les pôles situés sur la sphère : chacune de ces droites ou ***rayons perspectifs***, AP par exemple, perce le plan de projection en un point déterminé P'; ce point est la projection stéréographique ou la ***perspective*** du pôle P considéré.

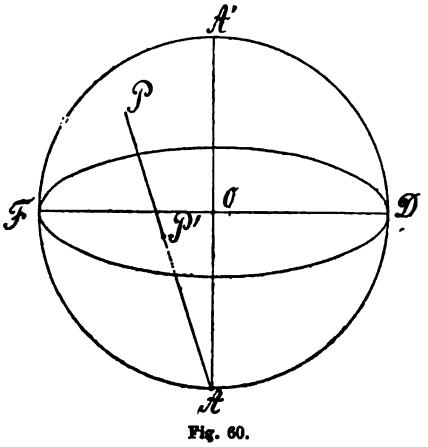


Fig. 60.

La géométrie démontre que tout cercle tracé sur la sphère est représenté dans ce mode de projection, par un cercle, d'où suit que les perspectives des cercles de zone sont également des cercles; la droite est considérée comme un cercle à rayon infiniment grand. Les grands cercles dont le plan est perpendiculaire au plan de projection ont pour perspectives des diamètres du cercle fondamental.

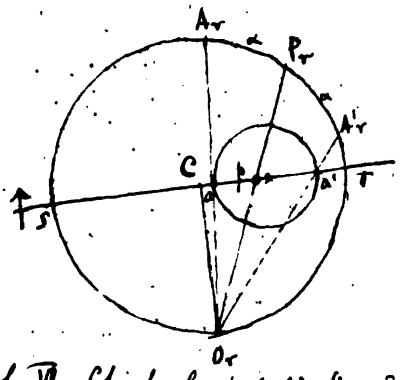
On ne représente ordinairement que l'une des deux moitiés dans lesquelles le plan de projection divise la sphère.

Proposons-nous de faire la projection stéréographique du cristal d'orthose figure 61. On a constaté, par les mesures goniométriques opérées au préalable, que le cristal possède un plan de symétrie parallèle à la face *b*; de plus on a reconnu l'existence des zones suivantes T', T, *b* — *c*, *x*, *y*, — *n'*, *c*, *n*, *b* — *o'*, *x*, *o*, *b* — *n'*, T', *y*, *o* — *n*, T, *y*, *o'* — *c*, T, *o* — *c*, T', *o'*; enfin on a trouvé les angles normaux : *c* : T = 67°47'; *b* : T = 59°22'½; *x* : *c* = 129°43'.

Choisissons pour plan de projection la face *a* qui tronquerait normalement l'arête T : T' de façon que le point de vue se trouve derrière le cristal au point où

Prob III Porter sur un grand cercle MN à partir d'un pt donné a, une distance angulaire α donnée. (prob. inverse du n° III)

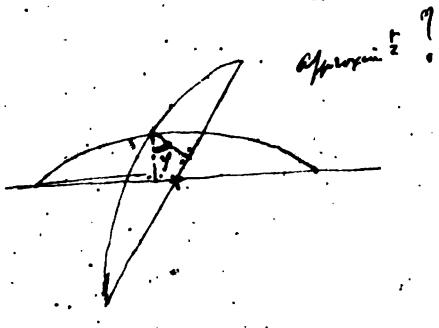
Prob V. Dessiner la pr. st. d'un petit cercle dont le pôle p est donné ainsi que l'intervalle sphérique α.



Prob. VI Chercher la projection d'un pôle connaissant les distances angulaires α et β qui le séparent de 2 pôles dont les proj. sont données —

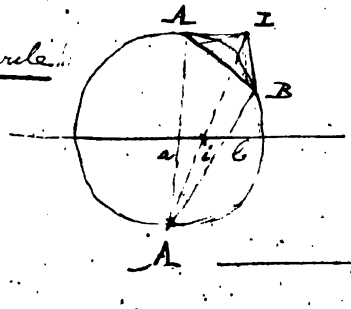
cf. prob. V.

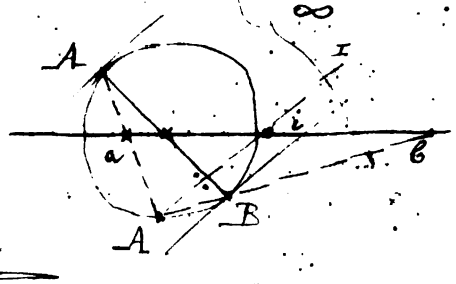
Prob. VII. Angle de 2 grands cercles



Le centre de la p. st. d'un cercle est la p. st. du Sommet du Cône circonscrit à la sphère suivant le cercle donné

1er petit cercle





Projection stéréographique

Théor. La proj. st. d'un cercle quelconque de la sphère est un cercle

Cercles de zone : la pr. st. de tout cercle de zone coupe le cercle d'horizon suivant un diamètre de ce dernier — la pr. st. du pôle du cercle de zone se trouve sur la ⊥ menée par le centre au diamètre suivant lequel le cercle de zone coupe le cercle d'horizon

Lemme (géom.) : tous les cercles qui passant par un pt fixe a coupent un cercle donné C suivant un diam. AB passent aussi par un pt. fixe a' situé sur ac, a une distance $Ca' = \frac{R^2}{Ca}$

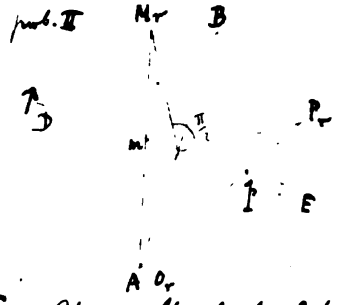
Probl. I Par 2 points a, b donnés (en pr. st.) faire passer le cercle de zone

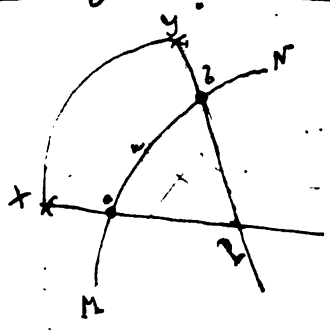
(il suffit de déterminer un 3e point de ce cercle —)

or on construit a' d'après le lemme ci-dessus.

(vérif. : le cercle cherché coupe le cercle C suivant un diamètre)

Prob. II Chercher la pr. st. du pôle d'un cercle de zone donné AmB





Probl. III. Chercher l'angle de 2 faces données en pr. st. par leurs pôles

on s'appuie sur la propr. géom. suivante : si par la droite qui joint les pôles de 2 grands cercles on fait passer deux plans, les arcs interceptés par ces derniers sur les 2 grands cercles sont égaux.

on applique les prob. I et II

l'angle entre a et b est donné en vrai grandeur en XY

pour savoir de quel côté du cercle d'horizon doit être compté XY, on observera qu'à l'angle droit Mn doit correspondre un angle droit

le diamètre normal à a percerait la sphère. Le pôle de la face a se projette au centre du cercle fondamental, et par suite les perspectives des cercles des zones T : T′ et $c : x$, qui contiennent toutes deux la face a, viennent se couper en a, sous la forme de deux diamètres perpendiculaires l'un à l'autre. Les perspectives des deux faces b et b' se placent, comme on le voit facilement, aux deux extrémités du diamètre horizontal. Il s'agit maintenant, de fixer la position des perspectives de T, c, et x, à l'aide des angles donnés plus haut. Or, il est clair, que les perspectives des faces c et x doivent être situées sur le diamètre vertical, puisque les normales à ces faces sont contenues dans le plan de symétrie, dont ce diamètre représente la projection; d'autre part, on déduit des deux angles $c : T' = 67°47'$, $b : T = 59°23' \frac{1}{2}$ que l'angle $c : a$ est égal à $63°56' \frac{1}{2}$. Il faut donc déterminer, sur le diamètre vertical un point tel que sa distance angulaire à a soit égale à $63°56' \frac{1}{2}$.

A cet effet nous supposons (fig. 63) le plan de symétrie avec le grand cercle qu'il contient, rabattu autour du diamètre vertical comme charnière, sur le plan de projection : le point de vue se rabattra en b, le pôle de a coïncidera avec b', et le pôle de c se trouvera en C, à la distance

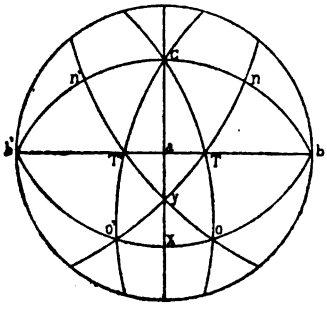


Fig. 62.

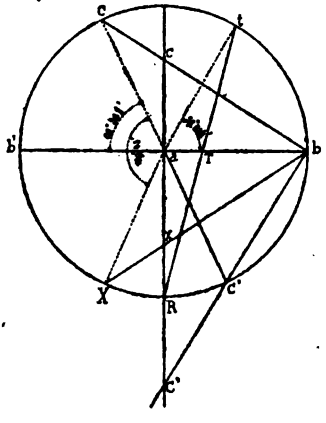


Fig. 63.

angulaire de $63°56' \frac{1}{2}$ de b'; il ne reste qu'à tracer le rayon perspectif bC, qui indiquera, à son intersection avec le diamètre vertical, la perspective de c.

Une construction analogue, faite au moyen de l'angle $c : x = 129°43'$ nous fera connaître la perspective de x; et enfin nous déterminerons sur le diamètre horizontal bb', les points T et T′ à l'aide de l'angle $b : T = b : T' = 59°23' \frac{1}{2}$ (fig. 63).

Ces points fixés, on construit d'abord les perspectives des zones $b : c : b'$ et $b : x : b'$; après quoi on détermine la perspective c' de la face parallèle opposée à c (fig. 63). On trace les perspectives des zones c : T : c' et c : T′ : c' et on trouve les projections de o, o', n, n' aux intersections de ces zones avec les zones $b' : x : b$ et $b : c : b'$. Enfin les zones n' : T′ : o et n : T : o' indiqueront le point perspectif de y, situé dans la zone $c : x$. On obtiendra ainsi la projection stéréographique (fig. 62) qui est symétrique par rapport à la zone $c : x$, puisque le plan de projection est perpendiculaire au plan de symétrie. On obtient une projection symétrique par rapport au

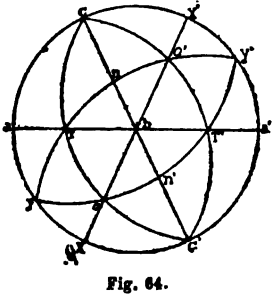


Fig. 64.

centre du cercle fondamentatal, mais sans symétrie par rapport à une zone, en choisissant pour plan de projection le plan de symétrie qui est parallèle à la face *b*. (voir figure 64).

Il faut remarquer que les projections se font à une échelle beaucoup plus grande que celle que nous avons adoptée ici; et qu'il est indispensable de faire usage d'un bon rapporteur muni d'un vernier donnant une approximation d'environ 3 minutes, surtout quand la projection doit servir au contrôle des angles calculés.

SYSTÈMES CRISTALLINS.

I. SYSTÈME CUBIQUE.

CRISTAUX HOLOÉDRIQUES. — Ces cristaux présentent neuf plans de symétrie qui se divisent en trois plans principaux (P) perpendiculaires entre eux et six plans secondaires (S) qui sont les bissecteurs des angles droits formés par les trois premiers.

Les neuf plans de symétrie passant par le centre d'un cristal cubique, découpent dans une sphère concentrique des grands cercles qui divisent la surface de la sphère en 48 espaces, correspondant aux 48 espaces élémentaires du système. Supposons que ces grands cercles soient projetés stéréographiquement sur un plan principal de symétrie, sur (001) par exemple (fig. 65): deux des trois plans principaux ainsi que deux des six plans secondaires sont représentés par des droites passant par le centre car ces plans sont perpendiculaires au plan de projection; les cinq autres plans (un plan principal et quatre plans secondaires) se projettent en des cercles. Les lignes qui représentent les plans de symétrie principaux sont le diamètre vertical, le diamètre horizontal et le cercle fondamental.

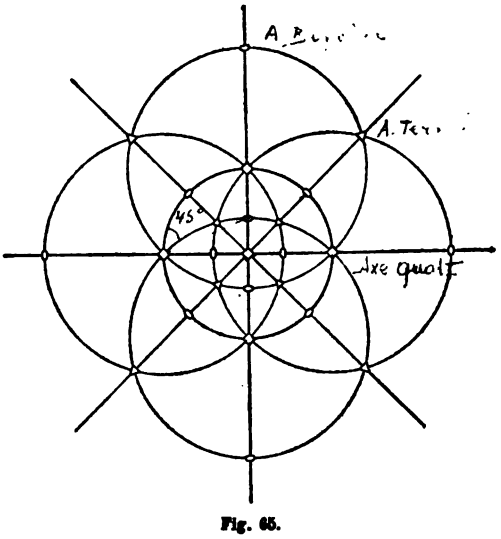


Fig. 65.

On choisit pour plans d'axes les trois plans de symétrie principaux, et partant, pour axes les trois droites suivant lesquelles ces plans se coupent (fig. 45).

On prend pour forme fondamentale l'octaèdre, dont les faces interceptent,

sur les trois axes, des paramètres de même longueur; son rapport paramétrique est donc $a : a : a$, et peut aussi s'écrire sous la forme 1 : 1 : 1. Ce rapport d'axes étant le même pour tous les cristaux cubiques, les formes de même symbole sont absolument identiques dans ce système, qui se distingue par ce fait de tous les autres systèmes.

La symétrie du système nous indique l'existence de groupes de 6, 8, 12, 24 et 48 faces coexistantes.

A. **Faces terminales.** — 1) *Hexaèdre* ou *Cube.* — Trois couples de faces parallèles aux plans principaux (P) forment l'hexaèdre (fig. 66). Les arêtes donnent la position des axes du système.

La notation est $\{ a : \infty a : \infty a \} = \{ 100 \}$.

Les plans de symétrie principaux sont parallèles aux faces du cube, les six plans secondaires sont les plans diagonaux du cube.

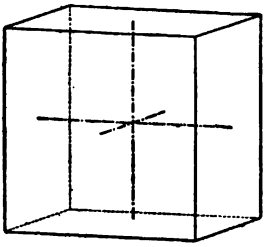


Fig. 66.

B. **Faces de Prismes.** — 2) *Rhombododécaèdre.* — Une face perpendiculaire à un plan principal (P) et également inclinée sur les deux autres, donc parallèle à un plan S, sera parallèle à un axe et coupera les deux autres à des distances égales (fig. 67). La forme dont il s'agit est le rhombododécaèdre $\{ a : a : \infty a \} = \{ 110 \}$.

Cette forme se compose de six couples de faces parallèles, qui sont en même

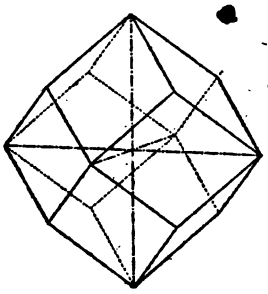


Fig. 67.

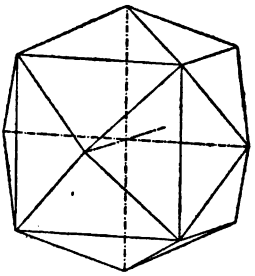


Fig. 68.

temps parallèles aux six plans de symétrie secondaires. On y compte six pointements quadruples où aboutissent les axes cristallographiques, et huit pointements triples opposés deux à deux. Les faces se coupent sous des angles de 60°.

3) *Tétrakishexaèdre* (fig. 68). — Toute face perpendiculaire à un plan principal et inégalement inclinée sur les deux autres, se présente 24 fois au cristal; la forme ainsi constituée est le tétrakishexaèdre, qui apparaît comme un cube dont chaque face serait surmontée d'une pyramide à quatre faces. Chaque face du tétrakishexaèdre est parallèle à un axe et coupe les deux autres à des distances inégales, d'où la notation $\{ ma : na : \infty a \} = \{ hko \}$.

Les 24 triangles isocèles par lesquels les tétrakishexaèdres sont terminés ont pour côtés 36 arêtes, dont 12, égales entre elles, sont parallèles aux arêtes du cube, et dont les 24 autres, aussi égales entre elles et situées dans les six plans de symétrie secondaires, forment les six pointements quadruples qui surmontent les faces du cube.

c. **Faces de Pyramides.** — 4) *Octaèdre.* — Une face également inclinée sur les trois plans principaux se présentera dans chaque octant, elle formera un octaèdre (fig. 69). Comme toute face de l'octaèdre coupe les trois axes à des distances égales, cette forme a pour notation $\{a : a : a\} = \{1\,1\,1\}$.

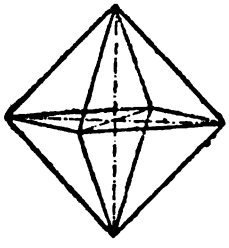


Fig. 69.

Les huit faces de l'octaèdre, parallèles deux à deux, sont des triangles équilatéraux; ces faces se coupent sous un angle de 70° 31′44″ suivant douze arêtes égales, situées dans les plans de symétrie principaux, et forment six angles à quatre faces, auxquels aboutissent les trois axes cristallographiques.

Une face également inclinée sur deux plans principaux mais inégalement sur le troisième, se présentera trois fois dans chaque octant. On obtient ainsi une forme à vingt quatre faces. Chacune de ces faces coupera deux axes à des distances égales et le troisième à une distance différente. Les formes limitées par des faces de cette nature sont de deux espèces. La première est le 5) *Triakisoctaèdre* (fig. 70). On peut l'envisager comme un octaèdre dont chaque face serait surmontée d'une pyramide à trois faces. Chacune des faces intercepte sur deux axes des longueurs égales, et sur le troisième une longueur plus grande; ainsi par exemple $\{a : a : 2a\} = \{2\,2\,1\}$. Le signe général des triakisoctaèdres est $\{h\,h\,l\}$, où $h > l$.

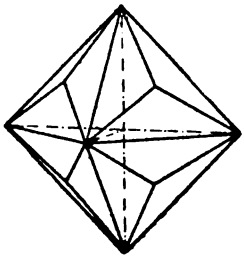


Fig. 70.

Les 24 faces sont des triangles isocèles limités par 36 arêtes dont 12 égales entre elles, situées dans les plans de symétrie principaux, sont parallèles aux arêtes de l'octaèdre; et dont les 24 autres, aussi égales entre elles, et situées quatre par quatre dans les six plans de symétrie secondaires, se rencontrent en huit pointements triples. Il y a en outre six angles à huit faces dont les arêtes ne sont égales qu'alternativement, et qui opposés deux à deux par le centre, indiquent la position des axes cristallographiques.

La seconde forme que l'on doit mentionner ici se distingue de la précédente par la position des arêtes; on la nomme 6) *Ikositétraèdre* (fig. 71). Elle a vingt-quatre faces qui sont des deltoïdes (quadrilatères symétriques par rapport à une droite). Chaque face coupe deux axes à des distances égales, et

le troisième à une distance moindre, par exemple $\{\frac{1}{2}a : a : a\} = \{211\}$. Le signe général de ces formes est $\{hll\}$ où $h > l$.

On peut comparer cette forme à un octaèdre dont chaque face serait surmontée d'une pyramide à trois faces mais dans une position inverse de la pyramide du triakisoctaèdre, c'est-à-dire que chaque face de la seconde pyramide prend la place d'une arête de la première et réciproquement. Cette forme compte 48 arêtes, dont 24, égales entre elles, sont situées huit à huit dans les trois plans de symétrie principaux, et dont les 24 autres, aussi égales entre elles, sont situées dans les plans secondaires et forment les huit pointements triples qui correspondent aux faces de l'octaèdre. On observe en outre six pointements quadruples dont les arêtes sont toutes égales, et enfin huit pointements quadruples dont les arêtes ne sont égales qu'alternativement; aux premiers aboutissent les axes cristallographiques.

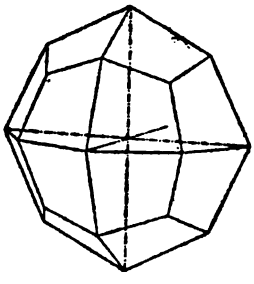


Fig. 71.

7) *Hexakisoctaèdre.* — Une face inégalement inclinée sur les trois plans principaux doit être inégalement inclinée aussi sur tous les autres; elle se présentera donc autant de fois qu'il y a d'espaces élémentaires. On obtient ainsi une forme à quarante huit faces (fig. 72), nommée l'hexakisoctaèdre. On peut la rapprocher d'un octaèdre dont chacune des faces serait surmontée d'une pyramide à six faces. Elle se rapproche aussi du rhombododecaèdre, car on peut l'envisager comme un rhombododécaèdre dont chaque face est surmontée d'une pyramide à quatre faces. On observe de même des analogies avec l'ikositétraèdre, avec le triakisoctaèdre, en un mot avec toutes les formes du système cubique. L'hexakisoctaèdre a pour symbole $\{ma : na : pa\} = \{hkl\}$; cette notation montre le rapport qui unit l'hexakisoctaèdre avec toutes les formes holoédriques du système; il suffit en effet de remplacer dans le symbole $\{hkl\}$ une des quantités h, k, l par o ou de poser $h = k$ ou $h = k = l$ etc. pour en déduire les autres formes holoédriques.

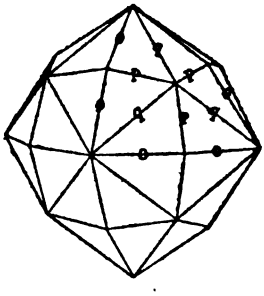


Fig. 72.

Les 48 faces de cette forme sont des triangles scalènes, et, par conséquent, les 72 arêtes sont de trois espèces : 24 arêtes (o) situées dans les plans de symétrie principaux, ont une position analogue à celle des arêtes du premier groupe de l'ikositétraèdre; 24 arêtes (p), situées quatre à quatre dans les plans de symétrie secondaires, correspondent aux arêtes du deuxième groupe de l'ikositétraèdre; enfin 24 arêtes (q) alternent deux à deux avec celles du groupe précédent dans les plans secondaires, et sont comparables à celles des arêtes du triakisoctaèdre qui aboutissent aux pointements triples de cette forme. Chaque plan de

symètrie est donc indiqué par huit arêtes, mais les huit arêtes par lesquelles passent les plans principaux sont toutes égales, tandis que les huit arêtes situées dans chacun des plans secondaires ne sont égales qu'alternativement. La forme offre des pointements à huit, six et quatre faces; les axes cristallographiques aboutissent aux pointements à huit faces.

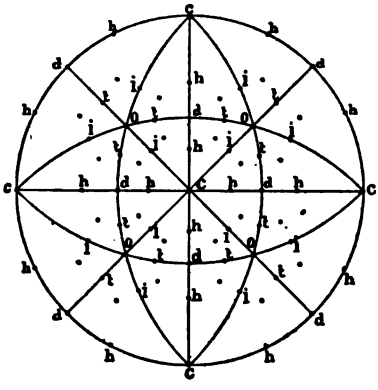


Fig. 73.

La figure 73 donne la projection stéréographique des faces du cube (*c*), du rhombododécaèdre (*d*), de l'octaèdre (*o*), c'est-à-dire de toutes les formes constantes du système, ainsi que celle d'un représentant de chacune des quatre formes variables : tétrakishexaèdre $\{210\} = h$; triakisoctaèdre $\{221\} = t$; icositétraèdre $\{211\} = i$ et hexakisoctaèdre $\{321\}$ (pôles qui ne portent pas de lettres). Les zones dessinées représentent les projections des grands cercles que les neufs plans de symétrie découpent dans la sphère, et on voit que, sauf pour l'hexakisoctaèdre, les perspectives des faces de toutes les formes cubiques sont situés sur les projections des plans de symétrie.

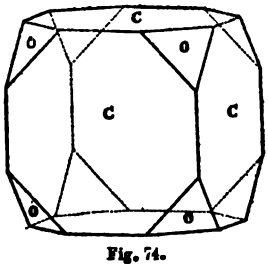


Fig. 74.

Combinaisons holoédriques. — Les figures 74-86 représentent quelques-unes des principales combinaisons des cristaux holoédriques du système. Les angles du cube (*c*) sont symétriquement tronqués par les faces de l'octaèdre (*o*) (fig. 74), et ceux de l'octaèdre (*o*) subissent la même *modification* par les faces du cube (*c*) (fig. 75). Dans le soi-disant *cuboctaèdre* (fig. 76) les deux formes, cube (*c*) et octaèdre (*o*) sont également développées.

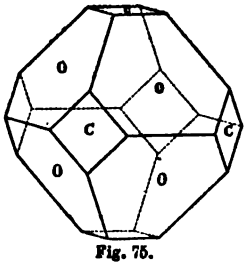


Fig. 75.

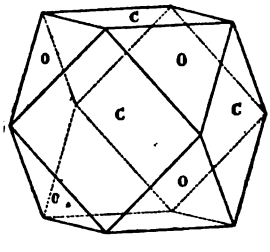


Fig. 76.

Les faces du rhombododécaèdre (*d*) tronquent symétriquement les arêtes du cube (*c*) (fig. 77) et celles de l'octaèdre (*o*) (fig. 78). La figure 79 donne une combinaison des trois formes constantes du système : rhombododé-

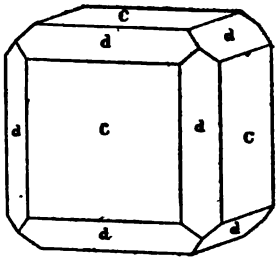


Fig. 77.

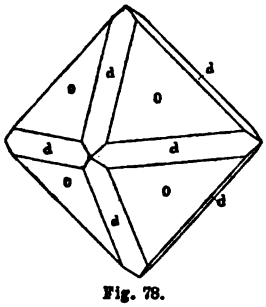


Fig. 78.

caèdre (*d*), cube (*c*) et octaèdre (*o*). Le tétrakishexaèdre (*h*) en combinaison avec le cube (*c*) remplace les arêtes de celui-ci par un biseau symétrique

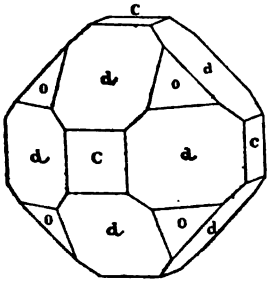


Fig. 79.

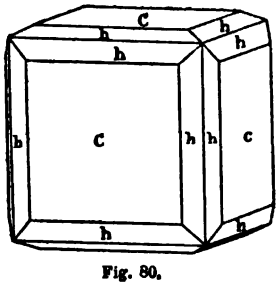


Fig. 80.

(fig. 80). Les faces du triakisoctaèdre (*t*) et de l'icositétraèdre (*i*) remplacent les angles du cube par des pointements triples symétriques, mais les faces du

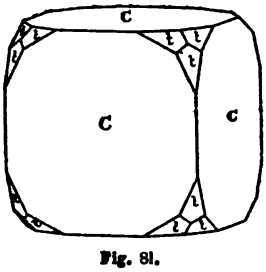


Fig. 81.

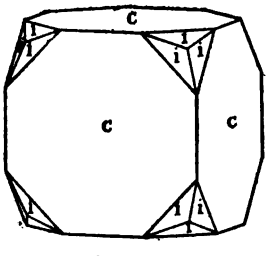


Fig. 82.

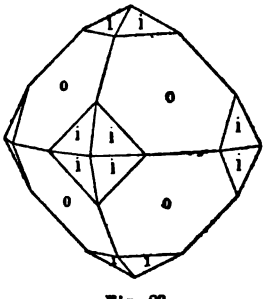


Fig. 83.

triakisoctaèdre reposent sur les arêtes (fig. 81) tandis que celles de l'icositétraèdre reposent sur les faces du cube (fig. 82). Dans la combinaison (fig. 83) de l'octaèdre (*o*) et de l'icositétraèdre (*i*) les angles de la première forme font place à un pointement quadruple plus obtus qu'eux-mêmes.

La figure 84 montre le rhombododécaèdre (*d*) en combinaison avec le tétrakishexaèdre (*h*) et le triakisoctaèdre (*t*). L'hexakisoctaèdre *modifie* les angles du cube en les remplaçant par un pointement sextuple (fig. 85). Une

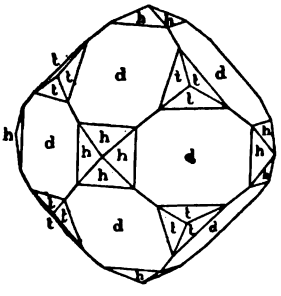


Fig. 84.

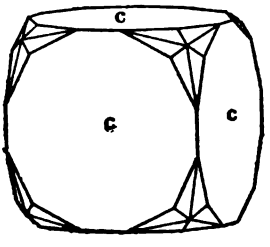


Fig. 85.

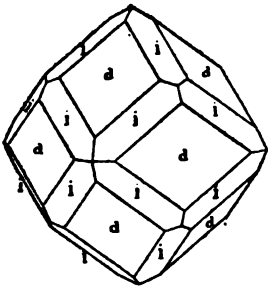


Fig. 86.

combinaison assez commune pour le Grenat est présentée par la figure 86 : les arêtes du rhombododécaèdre (*d*) sont tronquées symétriquement par les faces de l'icositétraèdre { 211 }

Enfin la figure 57 (page 44) nous offre une combinaison du rhombododécaèdre (*d*), du cube (*c*), de l'octaèdre (*o*) et de l'icositétraèdre { 211 } = *i*.

CRISTAUX MÉRIÉDRIQUES. — La figure 65 nous montre une perspective des quarante huit espaces élémentaires ; à l'aide de cette projection nous pourrons facilement, nous rendre compte, de la distribution des espaces égaux résultant d'une hémiédrie de ce système. On distingue deux hémiédries ; l'hémiédrie tétraédrique, et l'hémiédrie pentagonale.

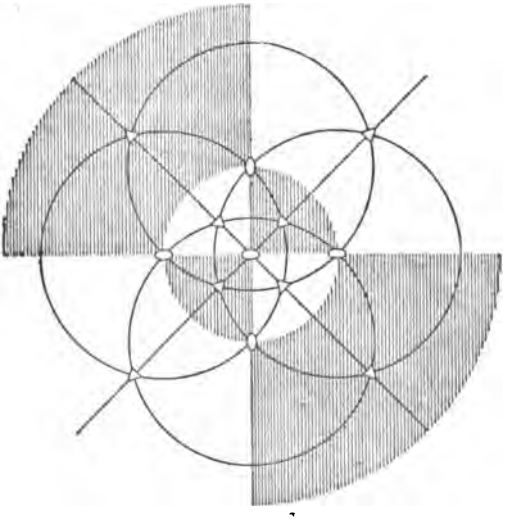


Fig. 87.

Hémiédrie tétraédrique (fig. 87). — Six plans de symétrie (plans S). Les trois plans de symétrie principaux holoédriques ont donc disparu.

La figure 87 rend compte de ce changement ; ainsi que le montrent les hachures, on peut dire que dans l'hémiédrie tétraédrique les huit espaces formés par les trois plans principaux ne sont égaux qu'alternativement.

Les normales aux faces de l'octaèdre, des triakisoctaèdres, des icositétraèdres et des hexakisoctaèdres tombent dans les octants (voir fig. 73), ces formes seront donc soumises à l'hémiédrie tétraédrique. Si, des huit faces de l'octaèdre, quatre alternantes (striées dans la figure 88) disparaissent et que les

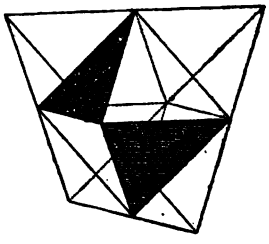


Fig. 88.

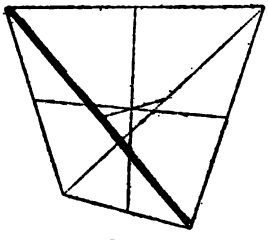


Fig. 89.

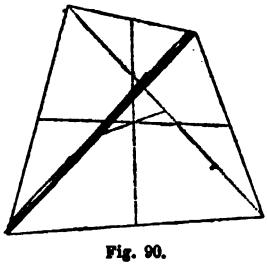


Fig. 90.

quatre autres se développent on obtient le *Tétraèdre positif* $\varkappa \{ 111 \}$ (fig. 89). Si, au contraire, les faces striées se développent, on aura le tétraèdre $\varkappa \{ 1\bar{1}1 \}$ (fig. 90) qui est appelé *Tétraèdre négatif* par opposition au premier.

Le tétraèdre est la seule forme cristalline dont toutes les faces doivent toujours être également développées.

Les tétraèdres sont des solides limités par quatre triangles équilatéraux qui se coupent suivant six arêtes égales et forment quatre angles à trois pans. Les six plans de symétrie qui restent aux cristaux tétraédriques sont respectivement perpendiculaires aux six arêtes du tétraèdre.

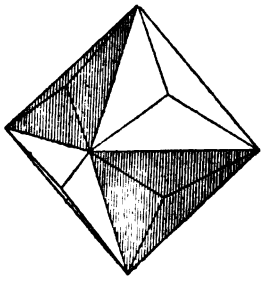


Fig. 91.

Les tétraèdres, comme toutes les formes conjuguées de cette hémiédrie, ne se distinguent entre eux que par la position : une rotation de 90° autour d'un axe cristallographique amène le tétraèdre négatif en coïncidence avec le tétraèdre positif, et réciproquement.

Si les faces non striées du triakisoctaèdre $\{ hhl \}$ (fig. 91) se développent jusqu'à suppression des autres faces, on obtient, d'après la même loi, le *Dodécaèdre deltoïdal positif* $\varkappa \{ hhl \}$ (fig. 92), dont les douze faces sont des deltoïdes. Le *dodécaèdre deltoïdal négatif* (fig. 93) $\varkappa \{ h\bar{h}l \}$, résultant du développement des faces striées, ne se distingue du premier que par sa position.

On voit par la position des arêtes le rapport qui existe entre cet hémièdre et le triakisoctaèdre. Les vingt quatre arêtes de l'hémièdre se divisent en deux groupes : douze arêtes réunies trois à trois forment les quatre pointements triples obtus (t) qui correspondent aux faces du tétraèdre, et les douze autres arêtes forment d'une manière analogue les quatre pointements triples aigus (t') correspondant aux angles du tétraèdre. Outre ces huit pointements triples, on observe encore six

pointements quadruples dont les quatre arêtes appartiennent, alternativement, aux deux groupes d'arêtes indiqués ci-dessus. Les trois axes cristallographiques aboutissent aux pointements quadruples. Les six plans de symétrie passent par

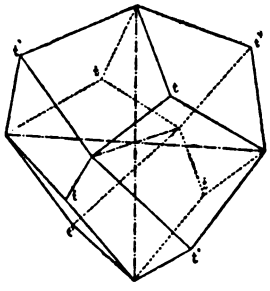


Fig. 92.

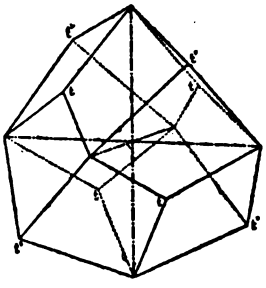


Fig. 93.

le sommet des six pointements quadruples et les arêtes adjacentes du premier groupe, ou, ce qui revient au même, par les arêtes adjacentes du second groupe.

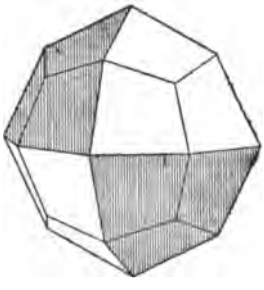


Fig. 94.

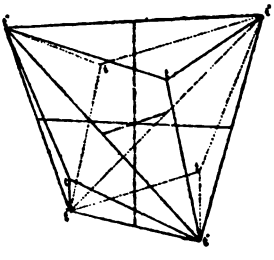


Fig. 95.

On fait dériver de l'ikositétraèdre (fig. 94) $\{hll\}$ une forme qui a de l'analogie avec le tétraèdre, et qu'on désigne sous le nom de ***Dodécaèdre trigonal*** (fig. 95). On voit que cette forme a six arêtes communes avec le tétraèdre, de même on reconnaît par la direction des autres arêtes le rapport qui existe entre cette forme et l'ikositétraèdre dont elle dérive. En comparant le dodécaèdre trigonal au tétraèdre on trouvera facilement la direction des plans de symétrie ; il est clair qu'ici encore on a deux formes conjuguées, le dodécaèdre trigonal positif $\varkappa\{hll\}$ et le dodécaèdre trigonal négatif $\varkappa\{h\bar{l}\bar{l}\}$ (fig. 96).

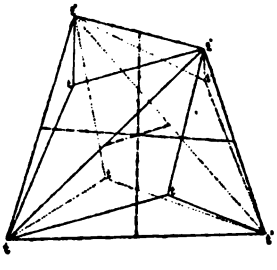


Fig. 96.

L'hexakisoctaèdre (fig. 97) donne l'***Hexakistétraèdre positif*** $\varkappa\{hkl\}$ (fig. 98) et l'***hexakistétraèdre négatif*** $\varkappa\{h\bar{k}l\}$ (fig. 99).

Ces formes comptent vingt quatre faces qui sont des triangles scalènes limités

par trente six arêtes se divisant en trois groupes comprenant chacun douze arêtes égales, et forment quatre pointements sextuples obtus (t), quatre pointements sextuples aigus (t') et six pointements quadruples. Six arêtes (deux de chacun des trois groupes), situées dans un même plan, le désignent comme plan de symétrie. Les

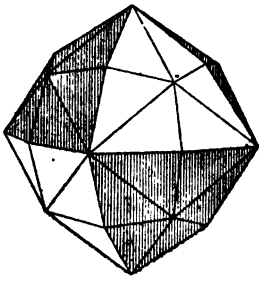


Fig. 97.

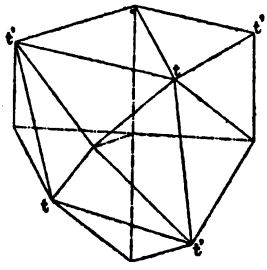


Fig. 98.

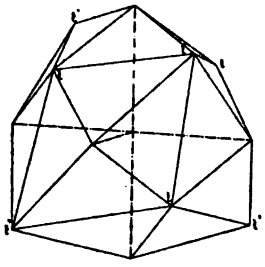


Fig. 99.

axes cristallographiques aboutissent aux pointements quadruples. Ces formes sont les plus générales de cette hémiédrie; en spécialisant les indices on peut en dériver les autres formes tétraédriques.

Ces formes hémiédriques sont, comme nous l'avons vu, positives ou négatives selon leur position. On les désigne en faisant précéder de la lettre grecque $\varkappa$ le symbole d'une face quelconque de la forme considérée; ainsi, par exemple, $\varkappa\{111\}$ est le tétraèdre positif, et $\varkappa\{1\bar{1}1\}$ le tétraèdre négatif.

Combinaisons tétraédriques. — Les combinaisons de cette hémiédrie ont en général un cachet nettement tétraédrique. La figure 100 représente

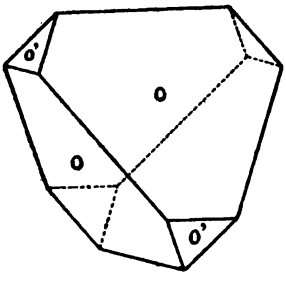


Fig. 100.

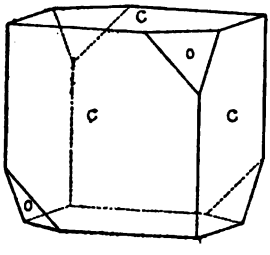


Fig. 101.

la combinaison des deux tétraèdres $\varkappa\{111\}$ et $\varkappa\{\bar{1}\bar{1}1\}$ avec $\varkappa\{111\}$ comme forme dominante. Si les deux tétraèdres combinés étaient également développés, on aurait, géométriquement parlant, un octaèdre. La combinaison de $c=\varkappa\{100\}$ et $o=\varkappa\{111\}$ offre un aspect complètement différent suivant que les faces du cube (fig. 101) ou celles du tétraèdre prédominent (fig. 102); il en

est de même pour la combinaison de $d = \varkappa \{110\}$ et de $o = \varkappa \{111\}$ (fig. 103 et 104). La figure 105 représente une combinaison très-fréquente de $c = \varkappa \{111\}$

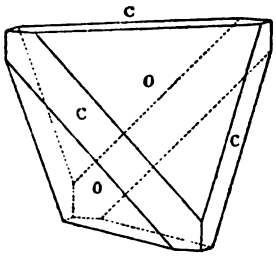


Fig. 102.

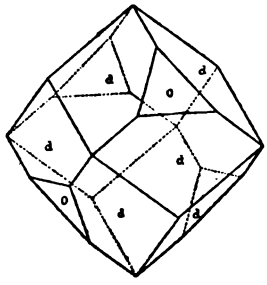


Fig. 103.

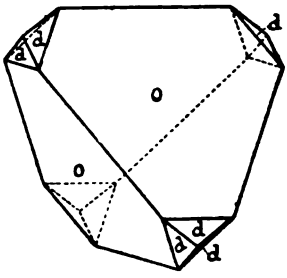


Fig. 104.

et $i = \varkappa \{211\}$. Enfin la figure 106 nous montre le dodécaèdre trigonal $i = \varkappa \{211\}$

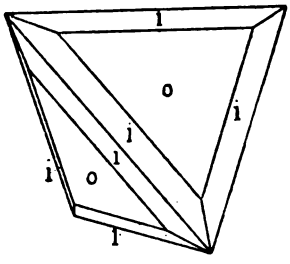


Fig. 105.

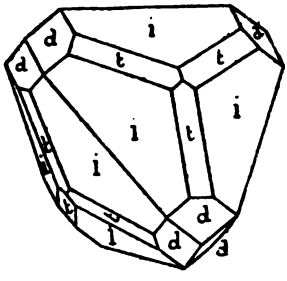


Fig. 106.

en combinaison avec le rhombododécaèdre $d = \varkappa \{110\}$ et le dodécaèdre deltoïdal $t = \varkappa \{332\}$; les douze faces de ce dernier solide tronquent normalement les douze arêtes de $\varkappa \{211\}$ qui forment les quatre pointements triples de cette forme.

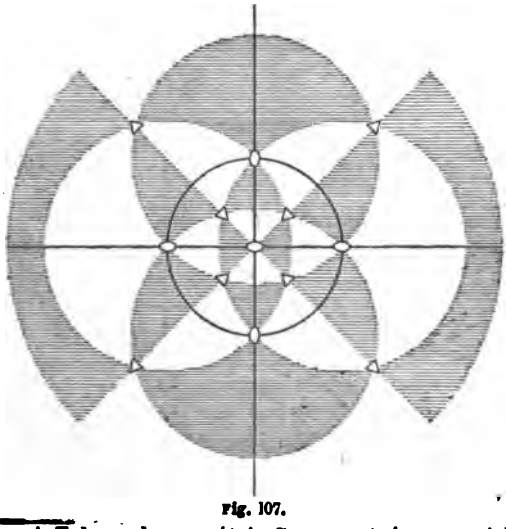


Fig. 107.

Hémiédrie pentagonale (fig. 107). Trois plans de symétrie (plans P).

La seconde espèce d'hémiédrie peut être caractérisée en disant que les douze espaces formés par les six plans de symétrie S ne sont égaux qu'alternativement.

Les normales des faces du tétrakishexaèdre et de l'hexakisoctaèdre sont situées dans ces espaces.

Ces deux formes peuvent donc être soumises à ce genre d'hémiédrie, tandis que toutes les autres restent intactes.

Le tétrakishexaèdre $\{hko\}$ (fig. 108) donne ainsi le *Dodécaèdre pentagonal* (fig. 109) qui se compose de douze pentagones symétriques. On distingue un Dodécaèdre pentagonal positif (fig. 109) (voir fig. 108 faces non striées) et un

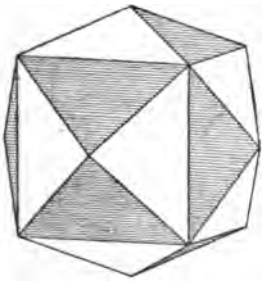


Fig. 108.

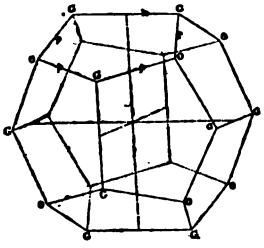


Fig. 109.

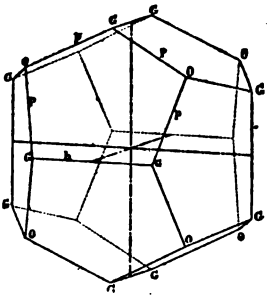


Fig. 110.

dodécaèdre pentagonal négatif (fig. 110) (voir fig. 108 faces striées). La notation des formes représentées fig. 109 et 110 est $\pi\{210\}$ et $\pi\{2\bar{1}0\}$. — Les symboles des formes de cette hémiédrie sont précédés de la lettre grecque π.

Les pentagones du dodécaèdre pentagonal sont formés de quatre arêtes *p* égales, et d'une cinquième (*h*) différente des premières; il en résulte que les trente arêtes de ce dodécaèdre se divisent en deux groupes, l'un de vingt-quatre et l'autre de six arêtes égales. Les vingt angles solides se répartissent aussi en deux groupes, dont le premier comprend les huit angles O à trois arêtes égales, et le second les douze angles G formés par deux arêtes égales *p* et une arête différente *h*. Les trois droites qui joignent le milieu de deux arêtes opposées *h* forment les trois axes cristallographiques.

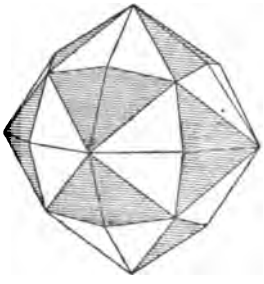


Fig. 111.

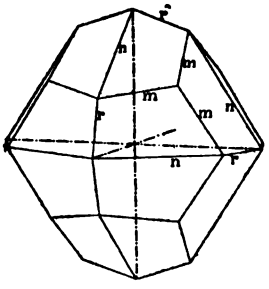


Fig. 112.

L'hexakisoctaèdre $\{hkl\}$ (fig. 72) donne, d'après cette hémiédrie, des formes à vingt-quatre faces qu'on désigne sous le nom de *Dyakisdodécaèdres* ou *Diploèdres*.

La figure 112 représente le diploèdre positif $\pi\{321\}$ qui résulte du développement des faces non striées de la figure 111.

Les faces striées en donnent un autre, $\pi\{3\bar{2}1\}$ appelé diploèdre négatif.

Ces formes ont quarante huit arêtes qui se répartissent en trois groupes d'arêtes égales, savoir : vingt quatre arêtes *m*, douze arêtes *n* et douze arêtes *r*. Le premier groupe comprend les arêtes des huit pointements triples ; les arêtes des deux autres groupes sont situées, huit à huit, dans les trois plans de symétrie.

Combinaisons pentagonales. — La figure 113 représente une combi-

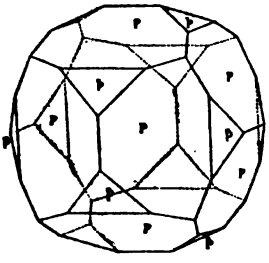


Fig. 113.

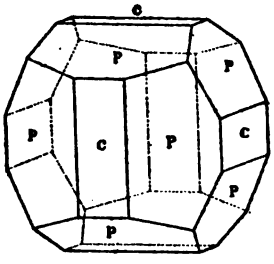


Fig. 114.

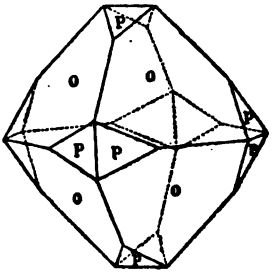


Fig. 115.

naison de deux dodécaèdres pentagonaux : $\pi\{210\}$ et $\pi\{2\bar{1}0\}$ dans laquelle $\pi\{210\}$ domine. Dans la figure 114 les arêtes *h* du dodécaèdre pentagonal $p = \pi\{210\}$ sont tronquées normalement par les faces du cube $c = \pi\{100\}$.

La figure 115 montre les faces du dodécaèdre $p = \pi\{210\}$ remplaçant les

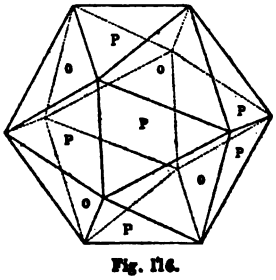


Fig. 116.

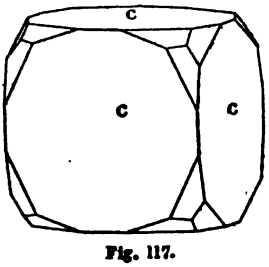


Fig. 117.

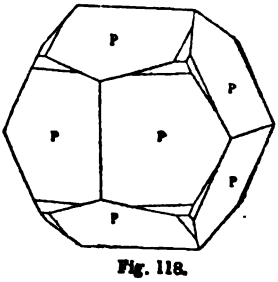


Fig. 118.

angles de l'octaèdre *(o)* par un biseau symétrique; si les deux formes sont également développées leur combinaison donne l'*Icosaèdre* (fig. 116) forme qui ressemble beaucoup à l'icosaèdre régulier de la géométrie. La figure 117 représente un cube dont les angles sont tronqués par le diploèdre $\pi\{321\}$.

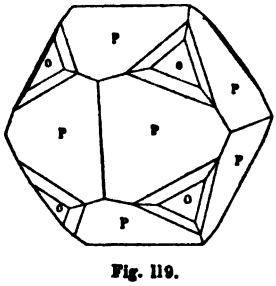


Fig. 119.

La combinaison $\pi\{210\}.\pi\{421\}$ se présente fréquemment dans les cristaux de cette hémiédrie : les douze arêtes *n* du diploèdre $\pi\{421\}$ sont tronquées normalement par les douze faces de $p = \pi\{210\}$ (fig. 118). Dans la figure 119 les angles O du dodécaèdre pentagonal *p* sont tronqués normalement par les faces de l'octaèdre *o*, et les

faces du diploèdre $\pi\{321\}$ sont placées dans les zones formées par les faces de l'octaèdre et les faces adjacentes du dodécaèdre pentagonal.

II. SYSTÈME HEXAGONAL.

CRISTAUX HOLOÉDRIQUES. Ces cristaux ont sept plans de symétrie dont six (plans secondaires S) se coupent sous des angles de 30° suivant un axe (axe *s*), qui est appelé *axe principal;* le septième plan de symétrie (plan principal P) est perpendiculaire à tous les autres.

Les six plans secondaires verticaux sont équivalents entre eux, mais on les divise en deux groupes : plans S et plans S′ (fig. 120).

Les plans S se coupent sous des angles de 60° dont les plans S′ sont les plans bissecteurs. L'ensemble de ces plans divise l'espace en vingt-quatre parties égales (fig. 120). Afin que la symétrie ressorte dans la notation des faces, on prend dans ce système quatre axes cristallographiques : trois axes horizon-

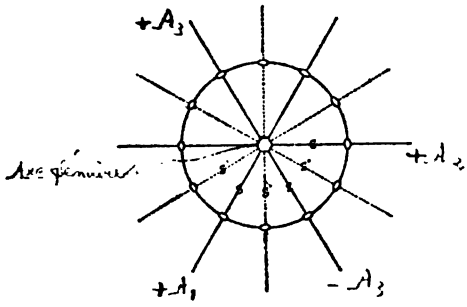


Fig. 120.

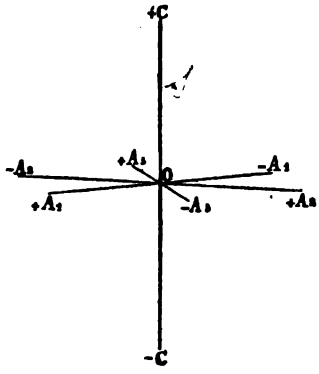


Fig. 121.

taux, perpendiculaires aux plans S′ et l'axe principal *s*. On considère comme directions positives les moitiés d'axes distantes l'une de l'autre de 120° : si dans la figure 121 OA_1 est positif, il en sera de même de OA_2 et de $O\overline{A}_3$.

Le rapport paramétrique des cristaux du système hexagonal s'indique par $a : a : a : c$ ou $1 : 1 : 1 : \frac{c}{a}$, ou pour abréger, simplement par $a : c = 1 : \frac{c}{a}$. Les différentes substances cristallisant dans le système hexagonal se distinguent nettement entre elles par leur rapport paramétrique ou par la valeur de $\frac{c}{a}$.

La symétrie nous montre la possibilité de groupes formés par deux, six, douze ou vingt-quatre faces coexistantes.

A. **Faces terminales.** — Le couple de faces parallèles au plan de symétrie

principal répond aux conditions de symétrie du système, ce sont les faces terminales horizontales : 1) *Base ou pinacoïde* $= \{\infty a : \infty a : \infty a : c\} = \{0001\}$.

Les couples de faces qui sont parallèles à l'un des trois plans S doivent, vu la symétrie, être représentés tous les trois au cristal ; ils forment un prisme à six pans qu'on désigne sous le nom de 2) *Prisme proprement dit* ou *Protoprisme* $= \{a : \infty a : \bar{a} : \infty c\} = \{10\bar{1}0\}$ (fig. 122).

B. **Faces prismatiques.** — Les faces qui sont parallèles à l'axe principal peuvent l'être aussi par rapport aux plans S'. Ces trois couples de faces for-

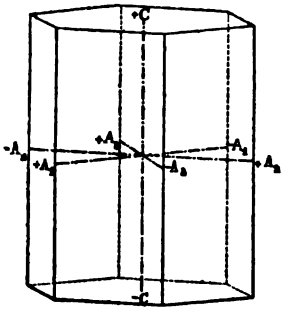


Fig. 122.

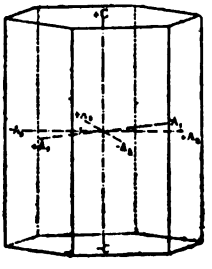


Fig. 123.

ment un prisme à six pans qui ne diffère du prisme proprement dit que par sa position ; c'est 3) le *Deutéroprisme* $\{a : a : \frac{1}{2}a : \infty c\} = \{11\bar{2}0\}$ (fig. 123) ; dans cette forme les axes horizontaux aboutissent au milieu des faces verticales.

La figure 124 montre la combinaison du deutéroprisme $m' = \{11\bar{2}0\}$, du pinacoïde $c = \{0001\}$ et du prisme proprement dit $m = \{10\bar{1}0\}$.

Une face prismatique verticale qui n'est parallèle ni aux plans S ni aux

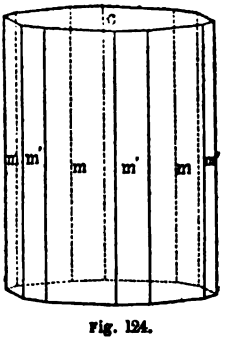


Fig. 124.

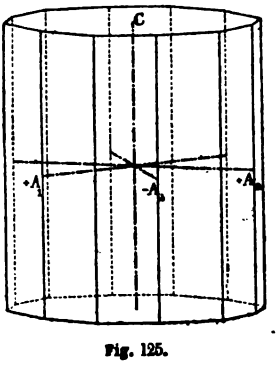


Fig. 125.

plans S' se présente douze fois en vertu de la symétrie. On obtient ainsi un prisme à douze pans, 4) le *Prisme dihexagonal*, dont chacune des faces coupe les trois axes horizontaux à des distances inégales : $\{ma : na : \overline{pa} : \infty c\} = \{hi\bar{k}o\}$ (fig. 125).

Une face qui est parallèle à un axe horizontal et qui coupe les autres axes, possède une direction analogue à celle d'un prisme horizontal. Elle coupera deux axes horizontaux à une même distance, et elle interceptera une longueur différente sur l'axe vertical; cette face doit se répéter six fois au-dessus et six fois au-dessous du plan principal de symétrie (fig. 126). Cette forme fermée à douze faces est 5) la ***Pyramide proprement dite*** ou ***Protopyramide*** $\{a : \infty a : \bar{a} : c\} = \{10\bar{1}1\}$. Cette notation est celle de la

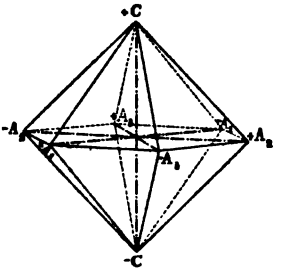


Fig. 126.

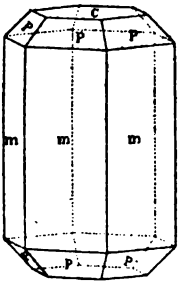


Fig. 127.

pyramide primaire; les pyramides plus aigues ou plus obtuses ont pour notation $\{a : \infty a : \bar{a} : mc\} = \{ho\bar{h}l\}$.

La protopyramide a la même position que le protoprisme; ses faces forment avec celles de ce prisme trois zones verticales.

La figure 127 montre la combinaison de la protopyramide $p = \{10\bar{1}1\}$, du protoprisme $m = \{10\bar{1}0\}$ et du pinacoïde $c = \{0001\}$.

c. **Faces de pyramide.** — Une face de pyramide peut avoir une direction telle qu'elle coupe deux axes horizontaux non voisins à des distances égales à a; elle intercepte dans ce cas le troisième axe horizontal intermédiaire à la

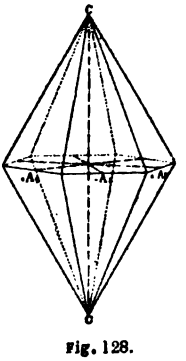


Fig. 128.

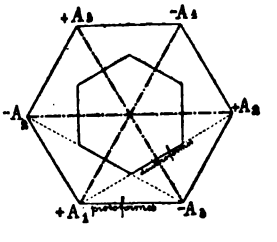


Fig. 129.

distance $\frac{1}{2}a$. On arrive ainsi à une forme fermée à douze faces, 6) la ***Deutéropyramide*** (fig. 128). La formule générale pour les deutéropyramides est $\{a : a : \overline{\frac{1}{2}a} : mc\} = \{hh\overline{2h}l\}$.

La figure 129, représentant une coupe perpendiculaire à l'axe vertical, montre

la position des faces des deutéroformes (deutéroprisme, deutéropyramides) par rapport à celle des protoformes (protoprisme, protopyramides).

Les deutéropyramides ont la même position que le deutéroprisme; leurs faces forment avec celles du deutéroprisme trois zones verticales.

La deutéropyramide primaire a pour formule $\{a : a : \frac{1}{2}\bar{a} : c\} = \{11\bar{2}1\}$.

La deutéropyramide $\{11\bar{2}2\}$ dont la hauteur est égale à la moitié de celle de la pyramide primaire $\{10\bar{1}1\}$ tronque les arêtes de celle-ci.

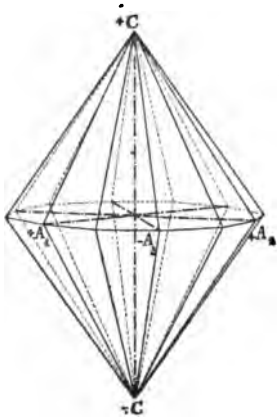


Fig. 130.

Une face de pyramide qui est inégalement inclinée sur les plans de symétrie secondaires de même espèce (les S ou les S') et qui coupe par conséquent les trois axes horizontaux à des distances inégales, se reproduit douze fois de chaque côté du plan de symétrie principal; on obtient ainsi une pyramide à vingt-quatre faces, 7) ***Pyramide dihexagonale*** dont la notation est $\{ma : na : \overline{pa} : qc\} = \{hi\bar{k}l\}$ (fig. 130). Dans cette notation n est plus grand que m et, par conséquent, h plus grand que i.

Les pyramides dihexagonales $\{hi\bar{k}l\}$ correspondent aux prismes dihexagonaux $\{hi\bar{k}o\}$; la figure 131 montre dans le plan de symétrie principal les traces des faces de la pyramide dihexagonale $\{21\bar{3}1\}$, et celle des faces de la protopyramide (en pointillé).

En résumé on peut dire que le système hexagonal possède sept espèces de formes holoédriques, savoir :

1° Base $\{0001\}$; 2° Protoprisme $\{10\bar{1}0\}$; 3° Protopyramides $\{h\bar{o}hl\}$; 4° Deutéroprisme $\{11\bar{2}0\}$; 5° Deutéropyramides $\{hh\bar{2}hl\}$; 6° Prismes

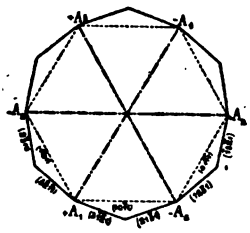


Fig. 131.

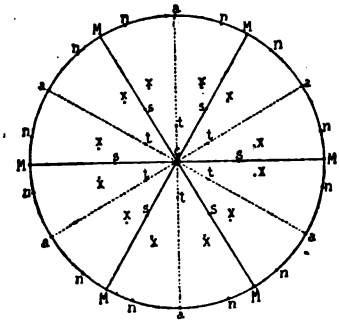


Fig. 132.

dihexagonaux $\{hiko\}$; 7° Pyramides dihexagonales $\{hi\bar{k}l\}$. Cette dernière forme est la plus générale; toutes les autres peuvent en être déduites si l'on donne des valeurs spéciales aux différents indices. Dans la projection stéréographique de la figure 132 on a représenté, pour le rapport des axes du

Béryl ($a : c = 1 : 0.4989$), un spécimen de chacune de ces sept espèces de formes : $c = \{0001\}$; $a = \{10\bar{1}0\}$; $t = \{10\bar{1}1\}$; $M = \{11\bar{2}0\}$; $s = \{11\bar{2}1\}$; $n = \{21\bar{3}0\}$; $x = \{21\bar{3}1\}$.

Combinaisons holoédriques. — Les figures 133-139 donnent quelques combinaisons dont l'interprétation n'offre pas de difficulté ; bornons-nous à

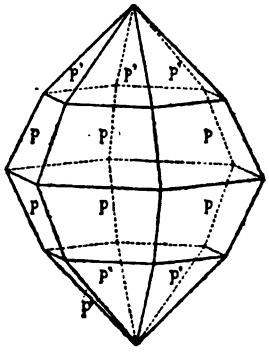


Fig. 133.

$p = \{h o \bar{h} l\} \cdot p' = \{h' o \bar{h}' l'\}$.

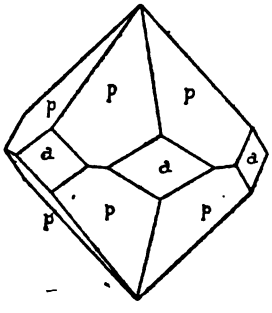


Fig. 134.

$a = \{11\bar{2}0\} \cdot p = \{h o \bar{h} l\}$.

signaler la combinaison représentée fig. 139 qui réunit presque toutes les formes observées sur les cristaux de Béryl, et montre nettement la disposition des faces des diverses espèces de formes holoédriques. Si nous donnons

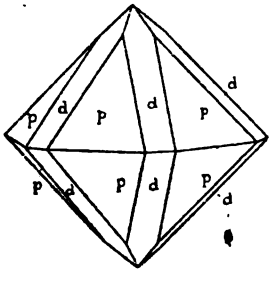


Fig. 135.

$p = \{h o \bar{h} l\}$.
$d = \{h h\bar{2} h 2 l\}$.

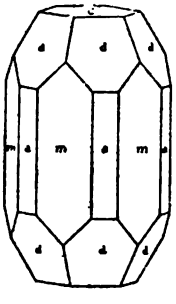


Fig. 136.

$m = \{10\bar{1}0\} \cdot a = \{11\bar{2}0\}$.
$d = \{h h\bar{2} \bar{h} l\} \cdot c = \{0001\}$.

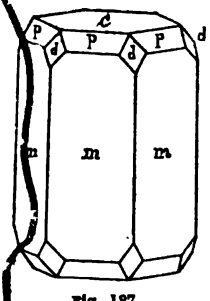


Fig. 137.

$m = \{10\bar{1}0\} \cdot p = \{h o \bar{h} l\}$.
$d = \{h h\bar{2} \bar{h} l\} \cdot c = \{0001\}$.

ici à la face t_1 le symbole $(10\bar{1}1)$, les symboles de toutes les autres faces peuvent être déterminés : d'abord on voit immédiatement que les faces a sont celles du protoprisme $\{10\bar{1}0\}$ et que la face c appartient à la base $\{0001\}$; puis la face de deutéropyramide s_1 se détermine par la zone $t_1 : a_3$. Comme s_1 tronque symétriquement l'arête des faces u_1 et u_5, ces faces doivent appartenir à

la pyramide $\{20\bar{2}1\}$; enfin le symbole $\{21\bar{3}1\}$ de la face x_1 qui fait partie des zones $s_1 : a_1$ et $u_1 : s_2$ s'obtient par le calcul.

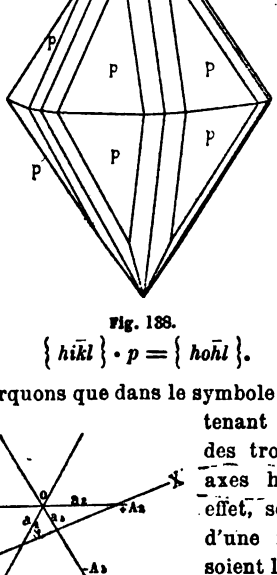


Fig. 138.

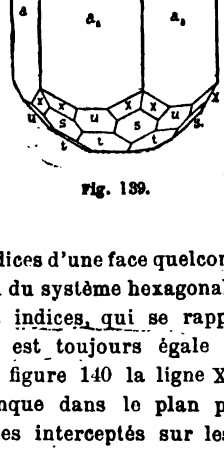


Fig. 139.

$\{hi\bar{k}l\} \cdot p = \{ho\bar{h}l\}$.

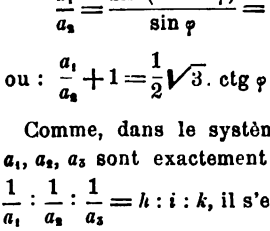


Fig. 140.

Remarquons que dans le symbole à quatre indices d'une face quelconque appartenant à un cristal du système hexagonal, la somme des trois premiers indices, qui se rapportent aux axes horizontaux, est toujours égale à zéro. En effet, soit dans la figure 140 la ligne XX' la trace d'une face quelconque dans le plan principal et soient les paramètres interceptés sur les trois axes respectivement a_1, a_2, a_3; si alors φ est l'angle que la trace XX' fait avec l'axe A_1, nous avons :

$$\frac{a_1}{a_3} = \frac{\sin(120^\circ - \varphi)}{\sin\varphi} = \frac{\sin 120^\circ \cos\varphi - \cos 120^\circ \sin\varphi}{\sin\varphi} = \frac{1}{2}\sqrt{3}.\operatorname{ctg}\varphi + \frac{1}{2},$$

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{\sin(60^\circ - \varphi)}{\sin\varphi} = \frac{\sin 60^\circ \cos\varphi - \cos 60^\circ \sin\varphi}{\sin\varphi} = \frac{1}{2}\sqrt{3}.\operatorname{ctg}\varphi - \frac{1}{2},$$

ou : $\frac{a_1}{a_2} + 1 = \frac{1}{2}\sqrt{3}.\operatorname{ctg}\varphi + \frac{1}{2} = \frac{a_1}{a_3}$, ou en divisant par a_1 : $\frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_1} = \frac{1}{a_3}$.

Comme, dans le système hexagonal, les valeurs inverses des paramètres a_1, a_2, a_3 sont exactement proportionnelles aux indices h, i, k, c'est-à-dire que $\frac{1}{a_1} : \frac{1}{a_2} : \frac{1}{a_3} = h : i : k$, il s'ensuit que $i + h = k$ ou $h + i + \bar{k} = 0$. Ainsi par exemple nous avons dans le symbole de la pyramide $\{21\bar{3}1\}$: $2 + 1 + \bar{3} = 0$.

Pour le *calcul des zones* on doit supprimer, dans les symboles des faces, un des trois premiers indices, par exemple celui qui se rapporte à l'axe A_3; on obtient alors pour la face envisagée un symbole à trois indices qu'on transforme facilement en un symbole à quatre indices en s'appuyant sur la remarque précédente.

Soit à calculer le symbole de la face x_1, (fig. 139) qui fait partie des zones $(10\bar{1}0) : (11\bar{2}1) = a_1 : s_1$ et $(20\bar{2}1) : (2\bar{1}\bar{1}1) = u_1 : s_2$.

Nous supprimons les indices relatifs à A_3 et nous avons :

$$\left.\begin{array}{l} \text{zone } a_1 : s_1 \left\{\begin{array}{l|l|l|l} 1 & 00 & 10 & 0 \\ 1 & 11 & 11 & 1 \end{array}\right. \\ \text{zone } u_1 : s_2 \left\{\begin{array}{l|l|l|l} 2 & 01 & 20 & 1 \\ 2 & \bar{1}1 & 2\bar{1} & 1 \end{array}\right. \end{array}\right\} \left.\begin{array}{l|l|l|l} 0 & \bar{1}1 & 0\bar{1} & 1 \\ 1 & 0\bar{2} & 10 & \bar{2} \end{array}\right\} = 211.$$

Nous obtenons ainsi comme symbole 211 auquel nous devons ajouter l'indice relatif à a_3, qui est $\bar{3}$ puisque $2 + 1 + \bar{3} = 0$; le symbole définitif est donc $x_1 = (21\bar{3}1)$.

Formes mériédriques. — La figure 120 représente en projection stéréographique, les vingt quatre espaces élémentaires du système hexagonal; les projections des plans de symétrie sont figurées par des droites à l'exception du plan principal qui se présente sous la forme d'un cercle (cercle fondamental de la projection). Ces vingt quatre espaces ne présentent aucune différentiation dans les cristaux holoédriques, mais tel n'est plus le cas pour les cristaux mériédriques.

Pour les hémiédries rhomboédrique (fig. 141), pyramidale (fig. 157) et trapézoédrique (fig. 163) ainsi que pour l'hémimorphie (fig. 166), les vingt-quatre espaces sont divisés en deux groupes de douze espaces qui sont indépendants les uns des autres, ce qui donne lieu à des hémiédries qu'on désigne respectivement en faisant précéder le symbole d'une de leurs faces par les lettres grecques $\varkappa$, π, τ ou ε; la combinaison de deux de ces hémiédries produit des tétartoédries.

HÉMIÉDRIE RHOMBOÉDRIQUE. — Pour cette hémiédrie, qui est la plus importante de toutes, on peut envisager les douze espaces élémentaires déterminés par les plans S et le plan de symétrie principal comme n'étant égaux qu'alternativement (fig. 141). Si nous tenons compte de la position

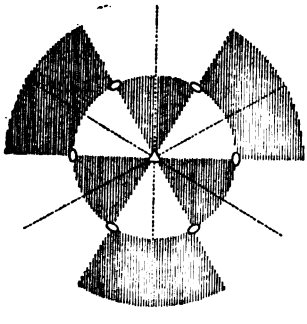


Fig. 141.

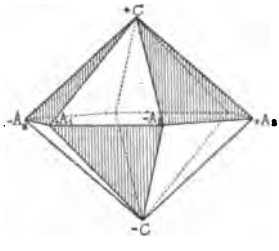


Fig. 142.

des normales des faces (fig. 132) on voit que les normales aux faces du pinacoïde, de la deutéropyramide et de tous les prismes sont dans les plans susdits,

Toutes les formes énumérées présenteront donc le même nombre de faces que les holoèdres. D'autre part les normales aux faces des protopyramides $\{h o \bar{h} l\}$ et des pyramides dihexagonales $\{h i \bar{k} l\}$ sont à l'intérieur des espaces élémentaires. Ces deux formes seront donc soumises à l'hémiédrie.

Les faces alternantes des protopyramides $\{h o \bar{h} l\}$ sont semblables au point de vue de l'hémiédrie; la forme hémiédrique qui résulte de l'élimination d'une série de six faces alternantes constitue le ***Rhomboèdre*** (fig. 143). Cette forme cristalline a ses faces parallèles deux à deux. Ses arêtes sont de deux espèces. Les trois arêtes qui descendent du sommet et celles qui remontent de l'extrémité inférieure, c'est-à-dire les ***arêtes polaires***, sont égales entre elles. Les arêtes latérales qui remontent et descendent en zig-zag sont, de même, égales entre elles mais différentes des arêtes polaires. De chaque pyramide (fig. 142) on fait dériver deux rhomboèdres, l'un positif (fig. 143)

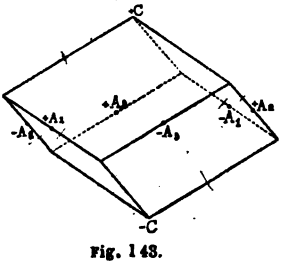


Fig. 143.

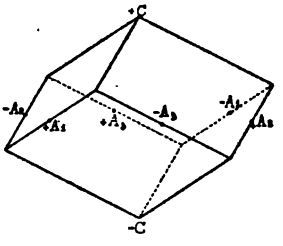


Fig. 144.

produit par l'extension des faces non striées de la figure 142, l'autre négatif (fig. 144) engendré par les faces striées de la figure 142. Pour caractériser l'hémiédrie on fait précéder de la lettre $\varkappa$ le symbole d'une face de la forme hémièdrique considérée. Ainsi les deux rhomboèdres qui se déduisent de la pyramide $\{h o \bar{h} l\}$ sont désignés par $\varkappa\{h o \bar{h} l\}$ rhomboèdre positif, et $\varkappa\{o h \bar{h} l\}$ rhomboèdre négatif.

Les rhomboèdres peuvent être plus aigus ou plus obtus suivant qu'ils répondent à une pyramide plus aigue ou plus obtuse. Le rhomboèdre $\varkappa\{01\bar{1}1\}$ est plus aigu que le rhomboèdre $\varkappa\{01\bar{1}4\}$.

Les pyramides dihexagonales $\{h i \bar{k} l\}$ soumises à cette hémiédrie produisent les solides désignés sous le nom de ***Scalénoèdres hexagonaux***. Si, dans la figure 145, les faces non striées se développent indépendamment des autres, on aura le scalénoèdre positif $\varkappa\{h i \bar{k} l\}$ (fig. 146), tandis que l'extension des faces striées ferait naître le scalénoèdre négatif $\varkappa\{i h \bar{k} l\}$ (fig. 147). Les scalénoèdres sont des formes à douze faces et dix-huit arêtes. Six de ces arêtes, ***arêtes latérales*** ou arêtes en zig-zag, sont égales entre elles; les douze autres, ***arêtes polaires***, alternativement longues et courtes, sont situées dans les trois plans de symétrie verticaux S' qui subsistent dans

cette hémiédrie. Les axes horizontaux joignent le milieu de deux arêtes en zig-zag opposées par le centre ; les points où ils aboutissent sont marqués dans les figures par la lettre A. On voit que dans les scalénoèdres positifs

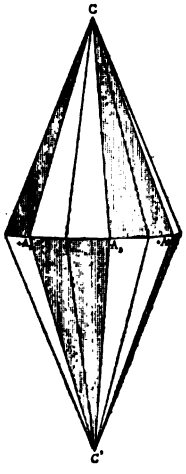


Fig. 145.

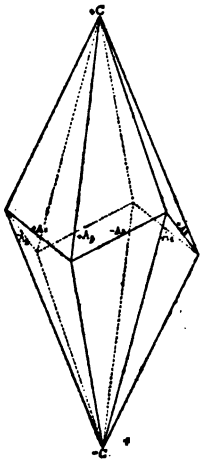


Fig. 146.

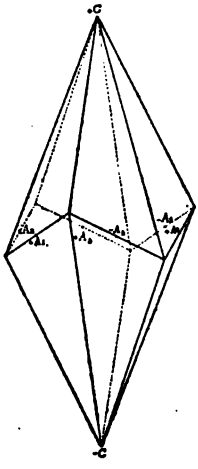


Fig. 147.

une arête longue fait face à l'observateur, tandis qu'une arête courte occupe cette position dans les scalénoèdres négatifs. Les rhomboèdres positifs présentent une face à l'observateur, et les rhomboèdres négatifs une arrête polaire.

Combinaisons rhomboédriques. — Les combinaisons de l'hémiédrie rhomboédrique sont multiples et souvent très riches en formes ; signalons-en quelques-unes qui s'observent dans les cristaux de calcite, minéral typique

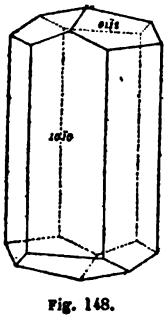


Fig. 148.

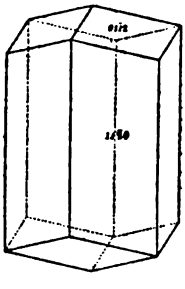


Fig. 149.

de cette hémiédrie. Les deux premières figures montrent le rhomboèdre négatif $\varkappa\{01\bar{1}2\}$ en combinaison avec le protoprisme $\{10\bar{1}0\}$ (fig. 148) et le deutéroprisme $\varkappa\{11\bar{2}0\}$ (fig. 149). On voit dans cette dernière figure que le deutéroprisme tronque normalement les arêtes en zig-zag du rhomboèdre

$\varkappa\{01\bar{1}2\}$; en effet, le deutéroprisme tronque normalement les arêtes en zig-zag de tout rhomboèdre et de tout scalénoèdre. Le protoprisme $\varkappa\{10\bar{1}0\}$, le rhomboèdre positif $\varkappa\{40\bar{4}1\}$ et le rhomboèdre négatif $\varkappa\{01\bar{1}2\}$ sont associés dans la figure 150. La figure 151 représente le rhombèodre $r = \varkappa\{10\bar{1}1\}$ en combinaison avec le rhomboèdre $d = \varkappa\{01\bar{1}2\}$; cet exemple montre que tout rhomboèdre qui tronque les arêtes polaires d'un autre rhomboèdre est de signe contraire à ce dernier, et possède un paramètre vertical égal à la moitié de

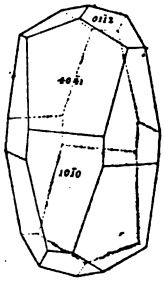


Fig. 150.

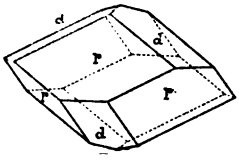


Fig. 151.

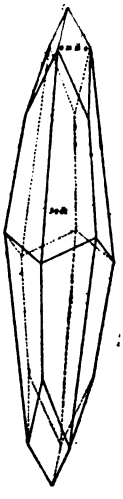


Fig. 152.

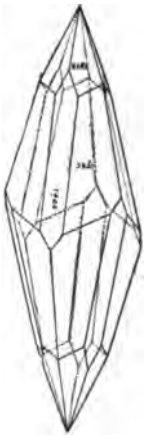


Fig. 153.

celui du rhomboèdre modifié. Dans la figure 152 un rhomboèdre $\varkappa\{0.13.\overline{13}.4\}$ remplace par un pointement triple les angles à six faces d'un scalénoèdre $\varkappa\{54\bar{9}1\}$. Deux scaléonèdres de même signe et à arêtes latérales

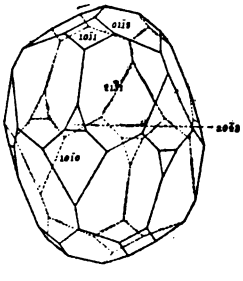


Fig. 154.

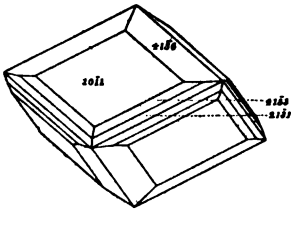


Fig. 155.

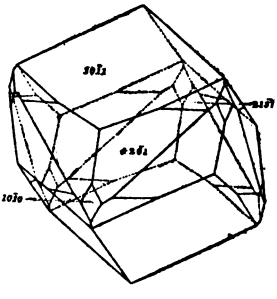


Fig. 156.

parallèles se superposent simplement comme on le voit pour les scalénoèdres $\varkappa\{21\bar{3}1\}$ et $\varkappa\{32\bar{5}1\}$ dans la figure 153, qui montre, en outre, le rhomboèdre $\varkappa\{40\bar{4}1\}$ tronquant normalement les arêtes polaires longues de $\varkappa\{32\bar{5}1\}$. Les combinaisons représentées par les figures 154, 155. 156 s'expliquent sans peine a l'aide des indications données dans ces figures.

HÉMIÉDRIE PYRAMIDALE. — Les plans secondaires de symétrie disparaissent; il ne reste qu'un seul plan de symétrie (plan principal)

perpendiculaire à l'axe vertical (fig. 157). Les douze espaces élémentaires compris entre les plans S et S′ sont égaux par alternance.

Les normales aux faces de la pyramide à vingt-quatre faces $\{hik\bar{l}\}$ et du prisme à douze faces $\{hik\bar{o}\}$ sont situées dans ces espaces, et par conséquent ces formes sont sujettes à l'hémiédrie, et produisent respectivement deux *Tritopyramides* à douze faces : $\pi\{hik\bar{l}\}$ (tritopyramide positive), et $\pi\{k\bar{i}\bar{h}l\}$ (tritopyramide négative), et deux *Tritoprismes hexagonaux* : $\pi\{hik\bar{o}\}$ (tritoprisme positif), et $\pi\{k\bar{i}\bar{h}o\}$ (tritoprisme négatif). Ces prismes ne diffèrent du proto- et du deutéroprisme que par leur position, qui est déterminée par les trois premiers indices, et qui est comprise entre celle du protoprisme $\{10\bar{1}0\}$ et celle du deutéroprisme $\{11\bar{2}0\}$. Si l'on fait abstraction des paramètres interceptés sur l'axe vertical, les tritopyramides ne se distinguent, non plus, des proto- et des deutéropyramides que par leur position qui est fixée par les trois premiers indices de leur symbole.

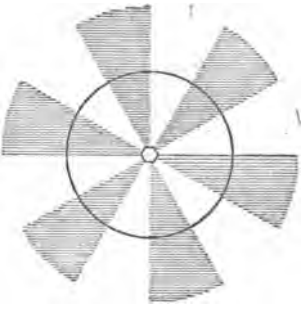


Fig. 157.

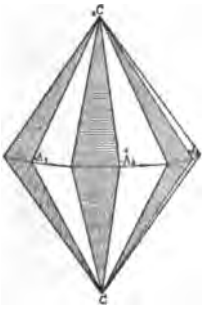


Fig. 158.

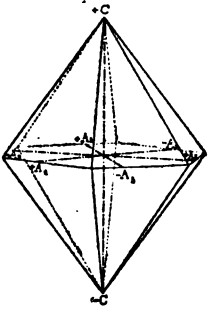


Fig. 159.

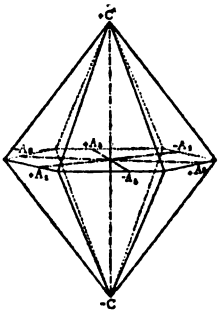


Fig. 160.

Si les faces non striées de la pyramide dihexagonale $\{hik\bar{l}\}$ (fig. 158) se développent seules, elles produiront la tritopyramide positive $\pi\{hik\bar{l}\}$ (fig. 159), tandis que les faces striées engendreraient par leur libre développement la tritopyramide négative $\pi\{k\bar{i}\bar{h}l\}$ (fig. 160). Les points où aboutissent les trois axes horizontaux sont marqués de la lettre A. La figure 161 donne les traces, dans le plan principal de symétrie, des deux tritopyramides (lignes pleines pour la tritopyramide positive et lignes pointillées pour la tritopyramide négative) et montre la disposition des faces de ces solides par

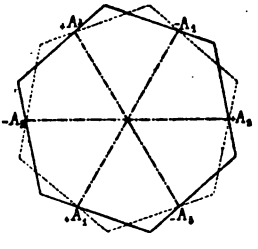


Fig. 161.

rapport aux axes horizontaux, position qui diffère notablement de celle des faces des proto- et deutéropyramides.

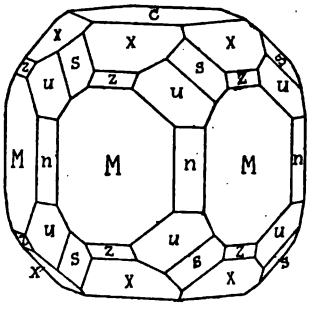


Fig. 162.

Les tritoprismes se comportent d'une manière analogue.

Le cristal d'Apatite représenté fig. 162 offre la base $c = \{0001\}$, le protoprisme $M = \{10\bar{1}0\}$, les protopyramides $x = \{10\bar{1}1\}$ et $z = \{20\bar{2}1\}$, le tritoprisme positif $n = \pi\{21\bar{3}0\}$ et la tritopyramide positive $u = \pi\{21\bar{3}1\}$. On voit que la position de ces deux dernières formes diffère de celle d'une proto- ou d'une deutéroforme, et donne au cristal un cachet tout particulier.

HÉMIÉDRIE TRAPÉZOÈDRIQUE. — Les 24 espaces élémentaires formés par les 7 plans de symétrie ne sont égaux que par alternance; il ne reste aucun

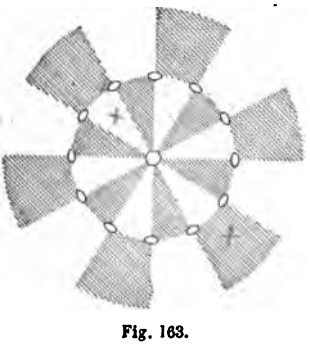


Fig. 163.

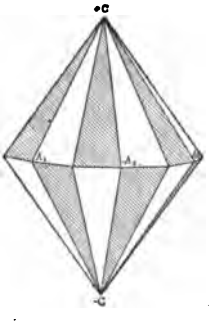


Fig. 164.

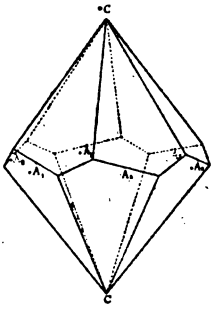


Fig. 165.

plan de symétrie (fig. 163). En comparant les figures 132 et 163 on voit que, seules, les pyramides dihexagonales $\{hik\bar{l}\}$ (fig. 130) sont soumises à cette hémiédrie; elles produisent deux *Trapézoèdres hexagonaux* énantiomorphes $\tau\{k\bar{i}\bar{h}l\}$ et $\tau\{hikl\}$; le premier (fig. 165) qui provient de l'extension des faces non striées de la fig. 164 est appelé *Trapézoèdre gauche*, tandis que l'autre, produit par les faces striées, est désigné sous le nom de *Trapézoèdre droit*.

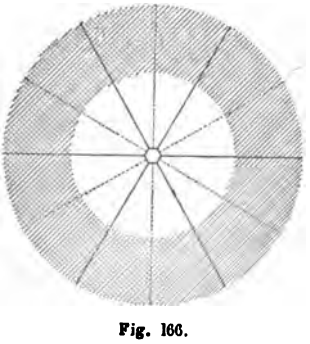


Fig. 166.

HÉMIMORPHIE HEXAGONALE (fig. 166). Le plan principal de symétrie disparaît, il ne reste que les six plans de symétrie secondaires se coupant sous des angles de 30° suivant l'axe principal. Toutes les formes du système sont soumises à cette hémimorphie, à l'exception des prismes verticaux. Ainsi par exemple, la pyramide $\{ho\bar{h}l\}$ (fig. 126) donne deux hémipyramides dihexagonales $\varepsilon\{ho\bar{h}l\}$ et $\varepsilon\{ho\bar{h}\bar{l}\}$.

La figure 167 représente un cristal de Greenockite (CdS, rapport des axes $a : c = 1 : 1,6218$), minéral qui offre un exemple de cette hémimorphie. Les faces supérieures des pyramides $p = \{10\bar{1}1\}$, $q = \{10\bar{1}2\}$ se montrent à l'extrémité supérieure de l'axe vertical, tandis que les faces inférieures manquent; toutefois le prisme $m = \{10\bar{1}0\}$ présente ses six faces.

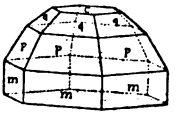


Fig. 167.

Hémimorphie rhomboédrique (fig. 168). — Combinaison de l'hémiédrie (fig. 141) et de l'hémimorphie (fig. 166). Les pyramides $\{hohl\}$ et $\{hik\bar{l}\}$ produisent respectivement quatre *Hémipyramides trigonales :* ex $\{hoh\bar{l}\}$, ex $\{hoh\bar{l}\}$, ex $\{ohh\bar{l}\}$ ex $\{oh\bar{h}\bar{l}\}$. et quatre *Hémipyramides ditrigonales :* ex $\{hi\bar{k}l\}$, ex $\{hik\bar{l}\}$, ex $\{ih\bar{k}l\}$. ex $\{ih\bar{k}\bar{l}\}$;

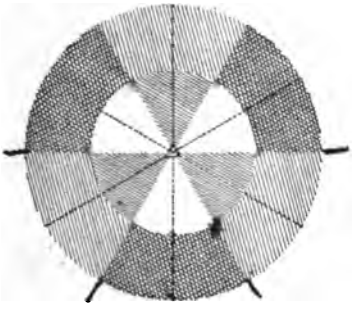


Fig. 168.

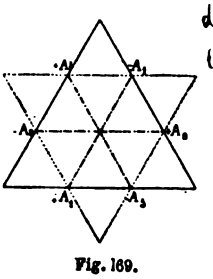


Fig. 169.

de même, les prismes $\{10\bar{1}0\}$ et $\{hi\bar{k}o\}$ engendrent respectivement deux *Prismes trigonaux* à base triangulaire équilatérale ex $\{10\bar{1}0\}$ et ex $\{01\bar{1}0\}$ (fig. 169), et deux *Prismes ditrigonaux* à base ditrigonale ex $\{hi\bar{k}o\}$ et ex $\{ih\bar{k}o\}$ (fig. 170). Les hémipyramides ne sont autre chose que les moitiés

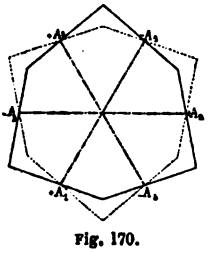


Fig. 170.

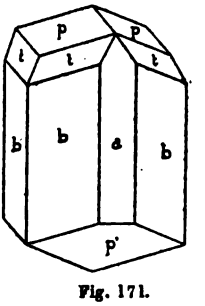


Fig. 171.

supérieures et inférieures des rhomboèdres et des scalénoèdres de l'hémiédrie rhomboédrique. Les pyramides $\{hh\bar{2}\bar{h}l\}$ donnent encore, comme on le voit facilement, deux *Hémipyramides hexagonales* ex $\{hh\bar{2}\bar{h}l\}$ et ex $\{hh\bar{2}hl\}$. Le pinacoïde $\{0001\}$ donne ex $\{000\bar{1}\}$ et ex $\{0001\}$. Seul le deutéroprisme $\{11\bar{2}0\}$ reste géométriquement le même.

Le cristal de Tourmaline (fig. 171) présente à l'extrémité supérieure de l'axe vertical (axe principal) l'hémipyramide trigonale $p = \varepsilon\varkappa \{ 10\bar{1}1 \}$, et l'hémipyramide ditrigonale $t = \varepsilon\varkappa \{ 32\bar{5}1 \}$; tandis qu'à l'extrémité inférieure il n'offre que $p' = \varkappa \{ 01\bar{1}\bar{1} \}$; les faces de prisme sont celles du deutéroprisme $b = \{ 11\bar{2}0 \}$ et les trois faces du prisme trigonal $a = \varepsilon\varkappa \{ 01\bar{1}0 \}$, dont l'une est visible dans la figure. Les trois plans de symétrie passent par l'axe vertical et par les arêtes polaires de l'hémipyramide $p = \varepsilon\varkappa \{ 10\bar{1}1 \}$.

TÉTARTOÉDRIE TRAPÉZOÉDRIQUE (fig. 172).— Combinaison des hémiédries fig. 141 et 163. Les figures 132 et 172 montrent qu'à l'exception de la base $\{ 0001 \}$ et du protoprisme $\{ 10\bar{1}0 \}$, toutes les formes du système hexagonal sont soumises à cette tétartoédrie. Les protopyramides $\{ ho\bar{h}l \}$ don-

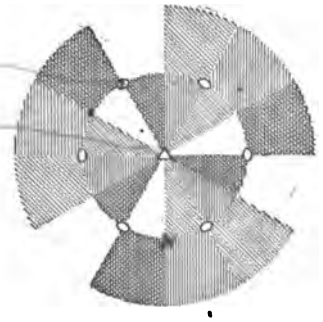


Fig. 172.

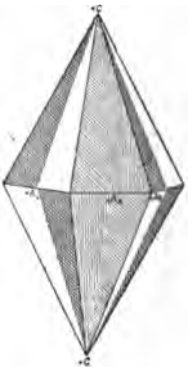


Fig. 173.

nent deux *Rhomboèdres* $\varkappa\tau \{ ho\bar{h}l \}$ et $\varkappa\tau \{ oh\bar{h}l \}$ qui ne se distinguent pas des rhomboèdres ordinaires. De la deutéropyramide $\{ hh\bar{2}hl \}$ résultent deux *Deutéropyramides trigonales* $\varkappa\tau \{ hh\bar{2}hl \}$ et $\varkappa\tau \{ 2h\bar{h}\bar{h}l \}$, et du deutéroprisme $\{ 11\bar{2}0 \}$ deux *Deutéroprismes trigonaux* $\varkappa\tau \{ 11\bar{2}0 \}$ et $\varkappa\tau \{ 2\bar{1}\bar{1}0 \}$. La figure 173 représente une deutéropyramide $\{ hh\bar{2}hl \}$ modifiée par cette tétartoédrie; on voit que par le développement indépendant des parties de faces non striées, on obtiendra deux *Pyramides trigonales*, qui ne se distinguent que par leur position : $\varkappa\tau \{ 2\bar{h}\bar{h}hl \}$ (fig. 174) et $\varkappa\tau \{ hh\bar{2}hl \}$ (fig. 175). Les points où aboutissent les axes horizontaux, sont marqués de la lettre A. Enfin les pyramides dihexagonales engendrent, par cette tétartoédrie, quatre *Trapé*

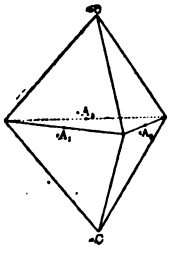


Fig. 174.

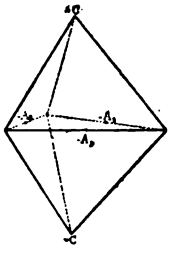


Fig. 175.

zoèdres trigonaux $\varkappa\tau\{k\bar{i}\bar{h}l\}$, $\varkappa\tau\{hi\bar{k}l\}$, $\varkappa\tau\{ih\bar{k}l\}$ et $\varkappa\tau\{\bar{i}k\bar{h}l\}$. Le premier et le troisième de ces trapézoèdres, que l'on désigne par la qualification de *gauches*, ne se distinguent entre eux que par leur position; il en est de même du second et du quatrième, qualifiés de *droits*. Au contraire les formes *droites* se distinguent nettement des formes *gauches* par l'énantiomorphie; une forme *droite* n'est pas superposable à une forme *gauche* par rotation, et réciproquement; les deux formes corrélatives sont l'une à l'autre comme la main droite est à la main gauche.

Le développement indépendant des faces non striées de la figure 176, des faces striées obliquement, de celles qui sont striées verticalement ou

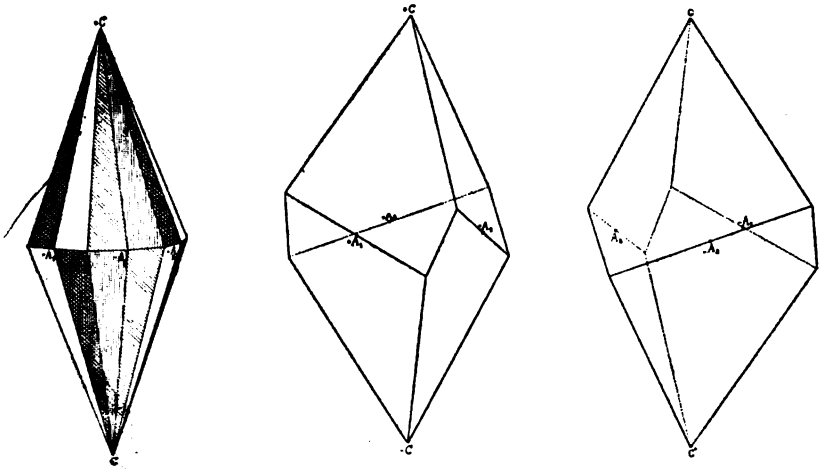


Fig. 176. Fig. 177. Fig. 178.

enfin des faces qui portent à la fois ces deux genres de stries, produira respectivement le trapézoèdre positif gauche $\varkappa\tau\{k\bar{i}\bar{h}l\}$ (fig. 177); le trapézoèdre positif droit $\varkappa\tau\{hi\bar{k}l\}$ (fig. 178); le trapézoèdre négatif gauche $\varkappa\tau\{ih\bar{k}l\}$ et enfin le trapézoèdre négatif droit $\varkappa\tau\{\bar{i}k\bar{h}l\}$.

Les prismes $\{hi\bar{k}o\}$ produisent deux *Prismes à base ditrigonale* (fig. 179): $\varkappa\tau\{hi\bar{k}o\}$ et $\varkappa\tau\{k\bar{i}\bar{h}o\}$, qui sont superposables par une rotation de 60° autour de l'axe vertical.

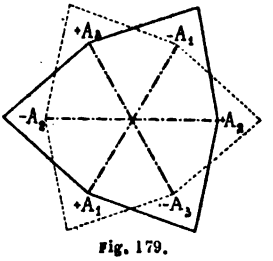


Fig. 179.

Les cristaux de Quartz (SiO_2) nous offrent un exemple très caractéristique de cette tétartoédrie. Les deux cristaux représentés par les figures 181 et 182 montrent comme formes dominantes le protoprisme $a = \varkappa\tau\{10\bar{1}0\}$; le rhomboèdre positif $p = \varkappa\tau\{10\bar{1}1\}$ et le rhomboèdre négatif $z = \varkappa\tau\{01\bar{1}1\}$.

S'ils ne possédaient que ces formes (voir fig. 180), les cristaux ne se distingueraient en rien, géométriquement du moins, d'un cristal rhomboé-

drique, ou même, peut-on dire, d'un cristal holoédrique, car le développement des faces z est souvent égal à celui des faces p; mais chacun des cristaux présente encore deux sortes de faces qui le caractérisent nettement comme tétartoédrique; ce sont les faces s et x. Les premières, en forme de losange, sont situées dans les zones $z : a$ et $p : a$; elles appartiennent à deux pyramides trigonales dérivant de la deutéropyramide $\{11\bar{2}1\}$; celle de la figure 182 est la pyramide trigonale $\varkappa\tau\{11\bar{2}1\}$, et celle de la figure 181 sa corrélative $\varkappa\tau\{2\bar{1}\bar{1}1\}$. Les faces x se présentent sur chaque cristal au nombre

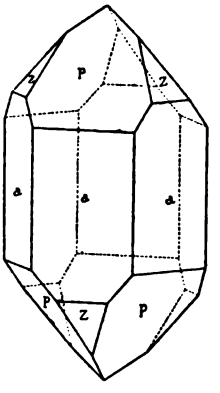


Fig. 180.

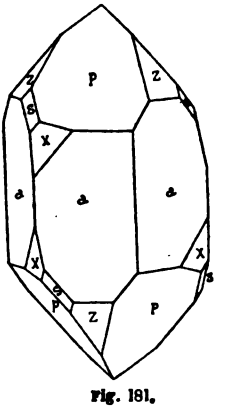


Fig. 181.

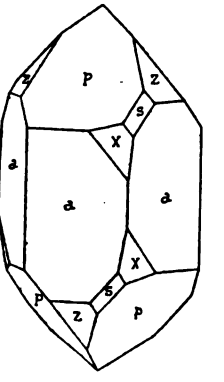


Fig. 182

de six; celles du cristal fig. 182 appartiennent au trapézoèdre positif droit $\varkappa\tau\{51\bar{6}1\}$, et celles du cristal fig. 214 au trapézoèdre positif gauche $\varkappa\tau\{6\bar{1}\bar{5}1\}$, corrélatif du premier. On désigne les cristaux de Quartz sous la dénomination de cristaux droits (fig. 182) et de cristaux gauches (fig. 181) d'après la position de l'ensemble des faces s et x.

● **TÉTARTOÉDRIE RHOMBOÉDRIQUE** (fig. 183). — Combinaison des

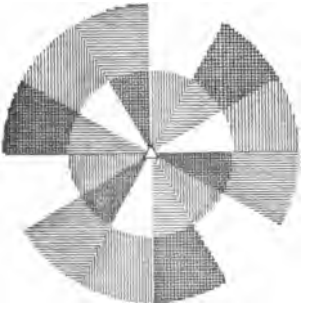


Fig. 183.

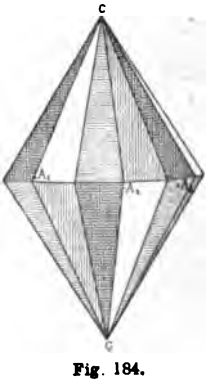


Fig. 184.

hémiédries fig. 141 et 157. Les formes $\{ho\bar{h}l\}$, $\{hh2\bar{h}l\}$, $\{hi\bar{k}l\}$ et $\{hi\bar{k}o\}$ sont soumises à cette tétartoédrie. La forme $\{ho\bar{h}l\}$ engendre deux rhomboèdres dits

de première position $x\pi$ $\{ho\bar{h}l\}$ et $x\pi$ $\{oh\bar{h}l\}$ identiques aux rhomboèdes ordinaires, la forme $\{hh2\bar{h}l\}$ donne également deux rhomboèdes $x\pi$ $\{hh2\bar{h}l\}$ et $x\pi$ $\{2h\bar{h}hl\}$ nommés *rhomboèdres de seconde position*, parce qu'ils sont tournés d'un angle de 30° autour de l'axe vertical, par rapport à ceux de première position. Enfin la pyramide $\{hi\bar{k}l\}$ fait naître quatre *rhomboèdres de troisième position* : $x\pi$ $\{hi\bar{k}l\}$, rhomboèdre positif droit; $x\pi$ $\{i\bar{k}h\bar{l}\}$ rhomboèdre négatif droit; $x\pi$ $\{k\bar{i}\bar{h}l\}$ rhomboèdre positif gauche; $x\pi$ $\{ih\bar{k}l\}$ rhomboèdre négatif gauche. La position de ces rhomboèdres est intermédiaire entre celle des rhomboèdres de première et de seconde position, et dépend des valeurs des trois indices *h, i, k*. Ces quatre rhomboèdres ne diffèrent entre eux que par leur position: une rotation d'un angle de 30° autour de l'axe vertical amène chacun d'eux à la position de l'un des rhomboèdres voisins. Le développement des faces non striées de la pyramide dihexagonale $\{hi\bar{k}l\}$ (fig. 184) donnera naissance au rhomboèdre positif gauche $x\pi$ $\{k\bar{i}\bar{h}l\}$;

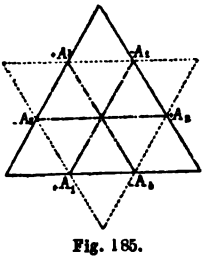


Fig. 185.

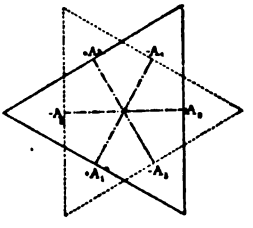


Fig. 186.

en conbinant ensemble les faces striées de la même manière on obtiendrait les trois autres rhomboèdres. Le prisme $\{hi\bar{k}o\}$ produit deux *Tritoprismes hexagonaux* $x\pi$ $\{hi\bar{k}o\}$ et $x\pi$ $\{k\bar{i}\bar{h}o\}$ qui ne se distinguent l'un de l'autre que par leur position.

Dans les cristaux de cette tétartoédrie il ne peut donc exister que des rhomboèdres des trois positions, des prismes hexagonaux (proto-, deutéro-, tritoprismes) et la base $\{0001\}$.

Si on dessine dans un plan perpendiculaire à l'axe vertical les traces des trois faces supérieures des différents rhomboèdres, on obtiendra la fig. 185 pour les deux rhomboèdres de première position, la fig. 186 pour ceux de seconde position, et

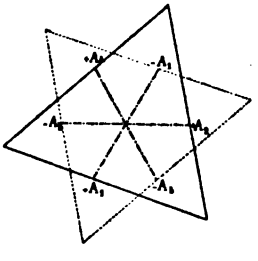


Fig. 187.

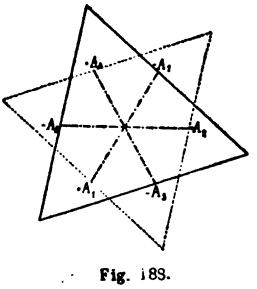


Fig. 188.

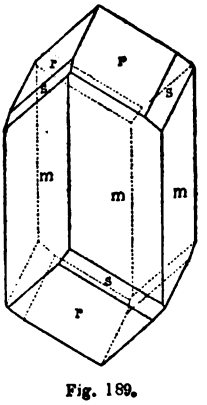


Fig. 189.

enfin les figures 187 et 188 respectivement pour les rhomboèdres gauches et

droits de troisième position (dans ces dernières figures on a supposé $h:i:k = 2:1:3$). On voit que dans la figure 185 les traces sont parallèles aux axes horizontaux, qu'elles leur sont perpendiculaires dans la figure 186 et qu'enfin elles sont inclinées sur ces axes dans les fig. 187 et 188.

Le Dioptase (SiO_4CaH_2) (fig. 189) offre un exemple de cette tétartoédrie. Le cristal représenté possède les faces r de $\varkappa\pi \{02\bar{2}1\}$ (protorhomboèdre négatif), les faces m de $\varkappa\pi \{11\bar{2}0\}$ (deutéroprisme) et, en outre, les faces caractéristiques des $= \varkappa\pi \{\cancel{1876}\}$. Or, cette face s n'apparaît que six fois, et l'ensemble de ces six faces donnerait un rhomboèdre dont la position ne coïnciderait avec celle d'aucun autre rhomboèdre; ce solide aura donc tourné d'un certain angle autour de l'axe principal; c'est un tritorhomboèdre négatif droit.

III. SYSTÈME TÉTRAGONAL.

Cristaux holoédriques. — Ces cristaux possèdent cinq plans de symétrie dont quatre (S et S′) se coupent sous des angles de 45° en un axe (*axe principal* ou *axe c*) qui est perpendiculaire au cinquième plan, nommé ***plan de symétrie principal***.

Les cinq plans de symétrie passant par le centre du cristal divisent la sphère concentrique en seize espaces élémentaires égaux, qui seraient représentés sur la surface de cette sphère sous forme de seize triangles sphériques égaux. La figure 190 donne une projection stéréographique de ces triangles sur le plan de symétrie principal; ce plan se projette en un cercle, tandis que les quatre plans de symétrie secondaires se projettent sous forme de droites S, S′.

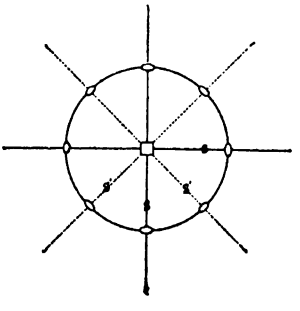


Fig. 190.

Les quatre plans de symétrie secondaires sont équivalents, nous les divisons cependant en deux groupes de deux plans chacun (les plans S et les plans S′), afin d'abréger nos explications ultérieures.

On place les cristaux de manière à ce que l'axe principal soit vertical. Les axes suivant lesquels les plans SS coupent le plan principal constituent les deux axes horizontaux; ils sont perpendiculaires entre eux et à l'axe principal (fig. 46).

Les paramètres des axes horizontaux d'un cristal tétragonal sont égaux; le rapport des axes est donc $a:a:c$ que l'on peut écrire aussi $1:1:\frac{c}{a}$ ou : $1:\frac{c}{a}$.

On peut avoir dans ce système des groupes de deux, quatre, huit et seize faces coëxistantes.

A. **Faces terminales.** — 1) *Base.* — Une face parallèle au plan de symétrie principal répond, avec sa parallèle, aux conditions de la symétrie; elles forment le couple de faces terminales $\{\infty a : \infty a : c\} = \{001\}$ perpendiculaires à l'axe principal. On l'appelle aussi pinacoïde ou base (*c* dans la fig. 191).

2) *Deutéroprisme.* — Les faces terminales de profil et de front sont parallèles aux plans de symétrie SS, leur ensemble formant un prisme à quatre pans nommé deutéroprisme, suffit aux conditions de la symétrie; son symbole, $\{100\}$, comprend les faces (100), (010) ($\bar{1}00$) et ($0\bar{1}0$).

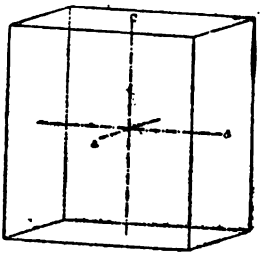


Fig. 191.

La figure 191 représente la combinaison de la face pinacoïde *c* et du deutéroprisme *a*. Dans cette figure, comme dans toutes les suivantes, les trois droites passant par le centre du cristal représentent les trois axes cristallographiques.

B. **Faces de prisme.** — 3) *Protoprisme.* — Les faces d'un prisme vertical peuvent être orientées de manière à ce qu'elles soient parallèles à un plan de symétrie S', elles forment alors un groupe de quatre faces qu'on nomme prisme proprement dit ou protoprisme (fig. 192); ces faces intercep-

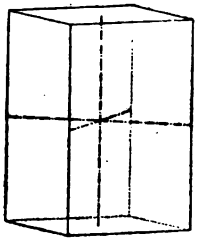


Fig. 192.

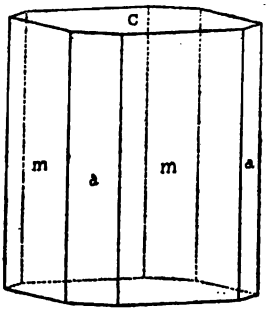


Fig. 193.

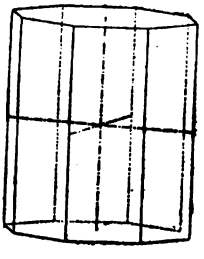


Fig. 194.

tent sur les axes horizontaux des distances égales; leur notation est $\{a : a : \infty c\} = \{110\}$.

La figure 193 montre la combinaison du protoprisme $m = \{101\}$ avec le deutéroprisme $a = \{100\}$ et le pinacoïde $c = \{001\}$.

4) *Prismes ditétragonaux.* — Si la face d'un prisme vertical n'est pas parallèle au plan S', elle doit se présenter huit fois en vertu de la symétrie; on obtient ainsi un prisme ditétragonal à huit pans dont les faces coupent les axes horizontaux à des distances inégales. $\{a : ma : \infty c\} = \{hko\}$ (fig. 194).

5) *Deutéropyramides.* — Les faces des prismes de profil et des prismes de front sont perpendiculaires aux plans SS; leur ensemble suffira à la symétrie

du système et donnera une forme fermée à huit faces, la deutéropyramide (fig. 195).

La notation est $\{a : \infty a : c\} = \{101\}$ pour la forme primaire.

On peut avoir d'autres deutéropyramides dont les faces coupent l'un des

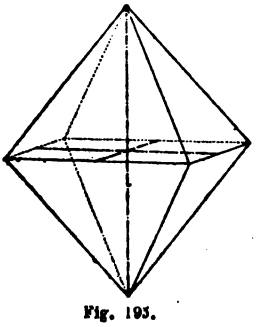


Fig. 195.

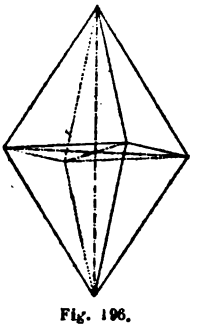


Fig. 196.

axes horizontaux et l'axe vertical dans un rapport différent du rapport des axes; la notation générale pour toutes les deutéropyramides sera $\{a : \infty a : mc\} = \{hol\}$.

c. **Faces de pyramide.** — 6) *Protopyramides.* — Une face de pyramide également inclinée sur les plans S sera représentée une fois seulement dans chaque octant, parce qu'elle est perpendiculaire aux plans S'. Cette face coupe les deux axes horizontaux à même distance. La forme fermée terminée par ces huit faces se nomme protopyramide, sa notation est $\{a : a : c\} = \{111\}$ pour la pyramide primaire. Pour toute pyramide plus aigue ou plus obtuse on aura $\{a : a : mc\} = \{hhl\}$. La figure 196 représente une protopyramide.

7) *Pyramides ditétragonales.* — Les faces de pyramide qui sont inégalement inclinées sur les plans de symétrie S seront aussi inégalement inclinées

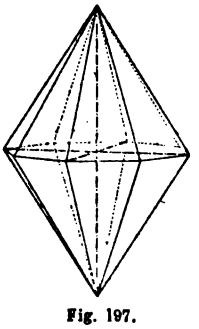


Fig. 197.

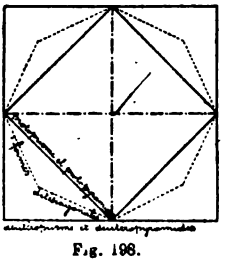


Fig. 198.

sur les plans S'; ces faces apparaîtront donc deux fois dans chaque octant, et formeront une pyramide ditétragonale à seize faces, dont le symbole général est $\{a : na : mc\} = \{hkl\}$. (fig. 197.)

La figure 198 montre les traces des faces de ces différents prismes et pyramides

dans le plan de symétrie principal, ainsi que les axes cristallographiques horizontaux; pour les formes ditétragonales (prismes ditétragonaux, pyramides ditétragonales) on a supposé $n = 2$ dans le symbole $\{ a : na : mc \}$.

La figure 199 qui donne la projection stéréographique de quelques formes communes de l'Apophyllite (rapport des axes $a : a : c = 1 : 1 : 1,2515$) sur la base (001), montre la disposition que prennent les pôles des faces d'un représentant de chacune de ces sept formes simples : 1° $c = \{ 001 \}$; 2° $m = \{ 100 \}$; 3° $M = \{ 110 \}$; 4° $n = \{ 210 \}$; 5° $d = \{ 101 \}$; 6° $P = \{ 111 \}$; 7° $h = \{ 211 \}$.

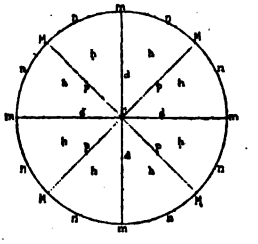


Fig. 199.

On voit que les pôles des faces du deutéroprisme, du protoprisme et des prismes ditétragonaux sont situés sur la circonférence du cercle fondamental; tandis que les pôles des faces des deutéropyramides se trouvent sur les projections des plans S, et ceux des faces des protopyramides sur les projections des plans S'. Les pôles des faces des pyramides ditétragonales tombent dans l'intérieur des triangles formés par les projections des plans de symétrie.

Combinaisons holoédriques. — La figure 200 représente la combinaison du protoprisme $m = \{ 110 \}$ avec une protopyramide $p = \{ hhl \}$; le protoprisme tronque normalement les arêtes horizontales des protopyramides.

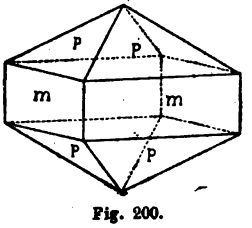


Fig. 200.

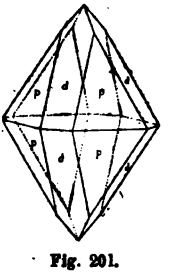


Fig. 201.

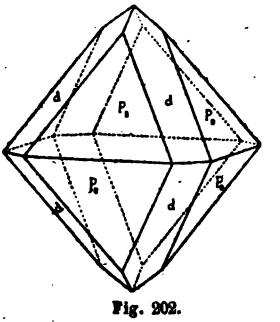


Fig. 202.

Les arêtes polaires des protopyramides $p = \{ hhl \}$ sont tronquées normalement par les deutéropyramides correspondantes $d = \{ hol \}$ comme le montre la figure 201; de même les arêtes polaires des deutéropyramides $d = \{ hol \}$ sont tronquées normalement par les protopyramides $p = \{ h.h.2l \}$ (fig. 202). La figure 203 offre une combinaison de $a = \{ 100 \}$ et de $p = \{ 111 \}$ qui se rencontre très-fréquemment dans le Zircon (ZrO_2SiO_2). La figure 204 représente une autre combinaison également très fréquente pour le même minéral; elle est constituée par le deutéroprisme $a = \{ 100 \}$, le protoprisme $m = \{ 110 \}$, deux protopyramides $p = \{ 111 \}$, $u = \{ 331 \}$ et la pyramide

ditétragonale $z = \{311\}$. Les faces de cette dernière forme étant situées dans deux zones connues, leurs symboles se calculent aisément; ainsi par exemple la face (311) fait partie des zones (111) : (100) et (331) : $(33\bar{1})$.

Le cristal d'Apophyllite représenté par la figure 205 offre la combinaison $P = \{111\}$. $m = \{100\}$. $n = \{210\}$. On voit que les faces du prisme ditétragonal sont disposées sous forme

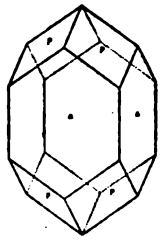


Fig. 203.

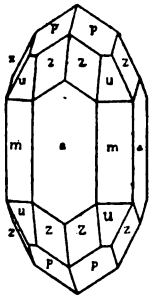


Fig. 204.

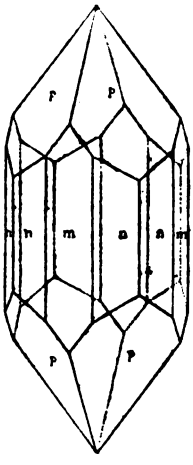


Fig. 205.

de biseaux sur les arêtes du prisme $\{100\}$. Enfin le cristal de Vesuvienne de la fig. 206 présente une combinaison de cinq formes simples : $a = \{100\}$. $M = \{110\}$. $P = \{111\}$. $d = \{101\}$. $c = \{001\}$.

Formes mériédriques. — La figure 190 nous a donné une projection stéréographique des seize espaces élémentaires déterminés par les cinq plans

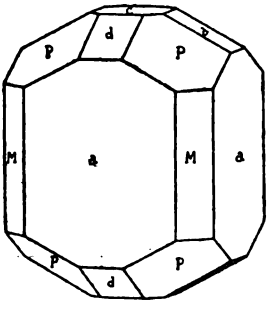


Fig. 206.

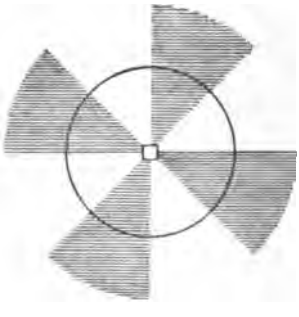


Fig. 207.

de symétrie du système; ces espaces identiques entre eux dans les cristaux holoédriques, ne le sont plus dans les cristaux mériédriques; on constate qu'ils sont différenciés de l'une des deux manières indiquées dans les figures 207 (hémiédrie pyramidale) et 213 (hémiédrie sphénoïdale).

Hémiédrie pyramidale (fig. 207). — L'hémiédrie pyramidale comprend les cristaux pour lesquels les huits espaces déterminés par les plans S et S′ ne sont égaux que par alternance. Si l'on envisage encore la position des normales, on remarque qu'aucune des faces dont les normales sont situées dans un des plans S ou S′ n'est influencée par cette hémiédrie ; telles sont les faces terminales, les faces du protoprisme, des protopyramides et des deutéropyramides.

Les normales des faces de toute pyramide ditétragonale $\{hkl\}$ tombent dans les espaces compris entre les plans S et S′, de même que celles des faces des prismes ditétragonaux $\{hko\}$; ces formes sont donc soumises à l'hémiédrie pyramidale. La première forme donne une *Tritopyramide* positive et une autre négative. De la seconde forme on peut dériver un *Tritoprisme* positif ou négatif. La notation de ces formes s'obtient en mettant la lettre π devant le symbole d'une de leurs faces.

Suivant que les faces laissées en blanc, ou celles qui portent des hachures dans la pyramide ditétragonale $\{hkl\}$ (fig. 208), se développent indépendamment des autres, on obtient la tritopyramide positive $\pi\ \{hkl\}$ (fig. 209), ou la tritopyramide négative $\pi\ \{h\bar{k}l\}$. En supposant que le paramètre déterminé par ces tritopyramides sur l'axe vertical s'accroisse de plus en plus, on arrive,

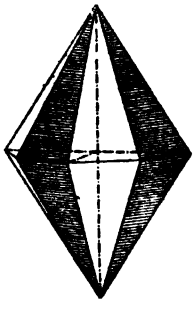


Fig. 208.

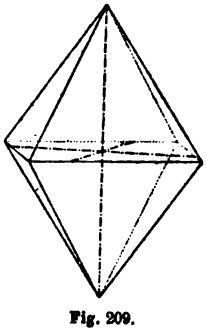


Fig. 209.

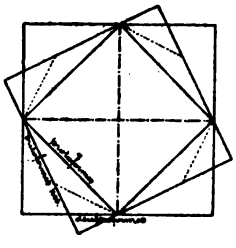


Fig. 210.

pour un paramètre infiniment grand, à deux *Tritoprismes* $\pi\ \{hko\}$ et $\pi\ \{h\bar{k}o\}$, qui se déduisent à l'aide de cette hémiédrie, du prisme ditétragonal $\{hko\}$. Ces trito-formes sont à base carrée comme les proto- et deutéroformes holoédriques, mais leur position est différente de celle de ces dernières. La figure 210 qui donne une coupe horizontale des protoformes, des deutéroformes et d'un représentant des tritoformes positives montre nettement la disposition des faces de ces trois espèces de solides. Il va sans dire que l'angle dont les tritoformes sont tournées, par rapport aux proto- et aux deutéroformes, est déterminé par la valeur des deux premiers indices de la forme ditétragonale dont elles dérivent.

Il est facile de voir que les solides de l'hémiédrie pyramidale n'ont plus qu'un seul plan de symétrie; ce plan est le plan horizontal ou plan de symétrie principal.

Signalons comme exemple le cristal de Wulfénite ($PbMoO_4$, rapport des axes $a : a : c = 1 : 1 : 1,574$) représenté par la figure 211, et qui offre

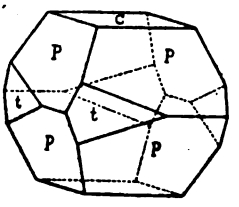


Fig. 211.

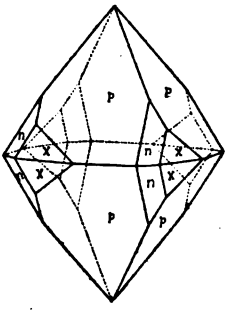


Fig. 212.

la protopyramide $P = \pi \{111\}$, la base $c = \pi \{001\}$ et le tritoprisme $t = \pi \{430\}$; ainsi que le cristal de Scheelite ($CaWO_4$, rapport des axes $a : a : c = 1 : 1 : 1,536$) (fig. 212) sur lequel les faces x, appartenant à la tritopyramide $\pi \{3\bar{1}1\}$, ne se présente que d'un côté seulement des faces n qui correspondent à la protopyramide $\pi \{111\}$; p désigne la deutéropyramide $\pi \{101\}$.

Hémiédrie Sphénoïdale (fig. 213). — Les huit espaces élémentaires déterminés par le plan de symétrie principal P et les plans S, ne sont égaux que par alternance. Les pôles des faces des prismes $\{100\}$, $\{110\}$, $\{hko\}$ et des

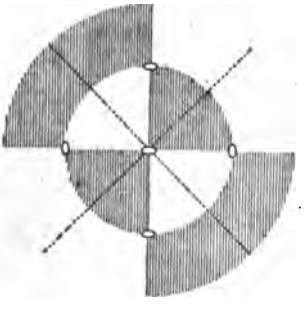


Fig. 213.

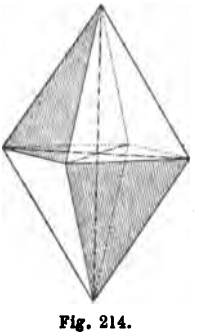


Fig. 214.

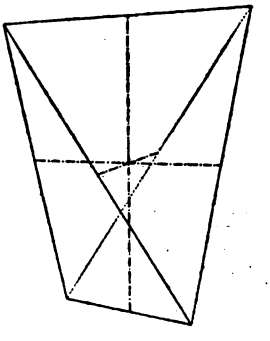


Fig. 215.

pyramides $\{hol\}$ sont situés dans le plan principal de symétrie ou dans les plans S (fig. 199); ces faces appartiennent donc à deux espaces élémentaires contigus, différenciés par l'hémiédrie, et par conséquent, ne sont pas influencés par elle, du moins au point de vue géométrique. Les pyramides $\{hhl\}$ (fig. 214) et $\{hkl\}$ (fig. 217), au contraire, sont soumises à cette hémiédrie;

les premières donnent deux *Sphénoïdes* à quatre faces: $\varkappa \{ hhl \}$ (fig. 215) et $\varkappa \{ h\bar{h}l \}$ (fig. 216), et les autres deux hémièdres à huit pans : $\varkappa \{ hkl \}$ (fig. 218) et $\varkappa \{ h\bar{k}l \}$ (fig. 219) appelés *Scalénoèdres tétragonaux*.

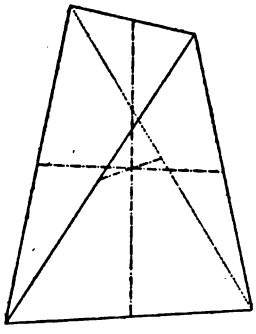


Fig. 216.

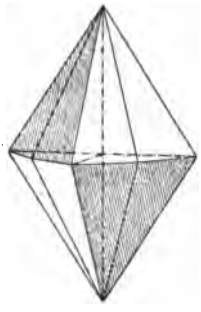


Fig. 217.

Les trois axes représentés à l'intérieur des figures 214-219 sont identiques aux axes cristallographiques des cristaux holoédriques. Les deux plans de symétrie que les solides de cette hémiédrie conservent, sont les plans S'; ils passent par l'axe vertical et sont également inclinés sur les deux axes horizontaux.

La notation de toutes les faces des cristaux hémiédriques appartenant à cette subdivision s'obtient en faisant précéder de la lettre $\varkappa$ le symbole de la forme holoédrique; ainsi $\varkappa \{ 111 \}$ désigne un sphénoïde positif, et $\varkappa \{ 1\bar{1}1 \}$

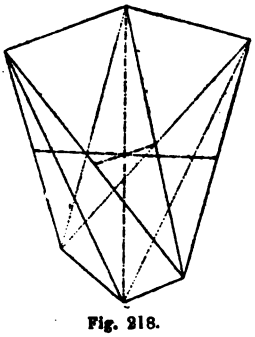


Fig. 218.

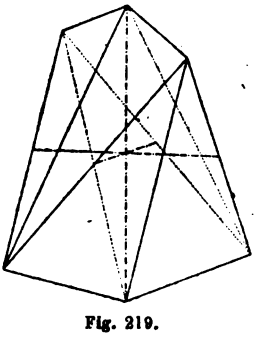


Fig. 219.

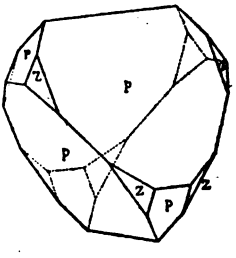


Fig. 220.

un sphénoïde négatif; $\varkappa \{ 110 \}$ désigne le prisme vertical hémiédrique, identique géométriquement au prisme $\{ 110 \}$ mais qui en diffère au point de vue physique.

Le cristal de Chalcopyrite ($Cu\,Fe\,S_2$ rapport des axes $a : a : c = 1 : 1 : 0{,}978$) (fig. 220) présente la combinaison des faces $p = \varkappa \{ 111 \}$ et $r = \varkappa \{ 1\bar{1}1 \}$, donc les deux sphénoïdes primaires, et outre ces formes, les faces de la deutéropyramide $z = \varkappa \{ 201 \}$.

IV. SYSTÈME RHOMBIQUE.

Cristaux holoédriques. — Ces cristaux présentent trois plans de symétrie se coupant à angle droit.

Les trois plans de symétrie divisent une sphère concentrique en huit espaces élémentaires égaux (fig. 221). D'après la symétrie du système il y a des groupes de deux, de quatre et de huit faces parallèles deux à deux : les faces terminales, les faces de prisme, et les faces de pyramide.

On choisit pour plans d'axes les trois plans de symétrie; les axes suivant lesquels ces plans se coupent sont les axes cristallographiques.

Le cristallographe peut choisir abitrairement une des trois faces terminales pour la représenter par (001), par (100) ou par (010); toutefois il est de règle de donner aux cristaux rhombiques une position telle que le paramètre intercepté sur l'axe de profil *a* par les faces de la pyramide fondamentale soit plus petit que celui qu'elles interceptent sur l'axe de front *b*; c'est pourquoi on désigne généralement l'axe *a* sous le nom de *brachydiagonale*, et l'axe *b* sous celui de *macrodiagonale*.

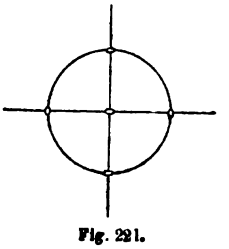


Fig. 221.

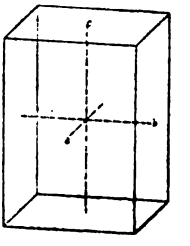


Fig. 222.

Les trois axes étant perpendiculaires entre eux, il suffit, pour fixer les éléments du cristal, d'indiquer le rapport des axes, c'est-à-dire la relation des paramètres de la pyramide fondamendale. Les paramètres des formes du système rhombique sont inégaux; dans leur rapport $a : b : c$ on rend b égal à l'unité, ainsi, par exemple, pour les cristaux de soufre on a $a : b : c =$ 0,8130 : 1 : 1,9037.

A. **Faces terminales.** — Une face qui est parallèle à l'un des trois plans de symétrie est perpendiculaire aux deux autres; elle forme donc, de chaque côté de ces plans, des angles égaux. Cette face et sa parallèle répondent, par conséquent, aux conditions exigées par la symétrie. On a ainsi les *Faces terminales de front, a, et de profil, b*, et les faces terminales proprement dites, ou la *Base c*. Ces formes sont désignées respectivement par les symboles {100}, {010} et {001}. La figure 222 représente ces trois formes en combinaison.

B. **Faces de prisme.** — Toute face perpendiculaire à un plan de symétrie et oblique aux deux autres remplit les conditions de symétrie par rapport au premier de ces plans, mais non par rapport aux deux autres; pour

obéir à la symétrie du système cette face doit etre représentée quatre fois. Les *Prismes verticaux* { *hko* } (fig. 223), les *Prismes de front* { *hol* } (fig. 224), et les *Prismes de profil* { *okl* } (fig. 225) sont dans ce cas.

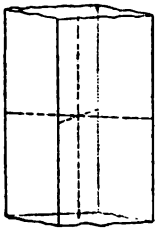


Fig. 223.

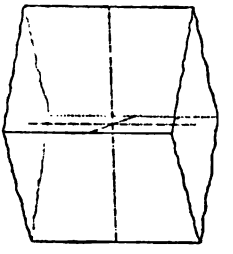


Fig. 224.

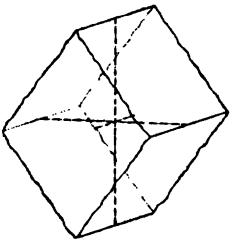


Fig 225.

c. **Faces de pyramide.** — Nous avons vu plus haut que les trois plans de symétrie perpendiculaires entre eux, divisent l'espace en huit parties égales qui ne se distinguent que par leur position. Une face oblique à la fois aux trois plans de symétrie se trouve située dans un de ces octants, et par suite elle se présente huit fois. Cette forme à huit faces est désignée sous le nom de *Pyramide*, elle a pour symbole général { *hkl* }. C'est une forme fermée composée de faces identiques et qui limitent l'espace de toutes parts.

La figure 226 montre la pyramide du soufre { 111 } (forme fondamentale), avec les trois axes cristallographiques passant par le centre du cristal.

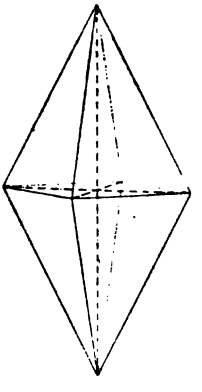


Fig. 226.

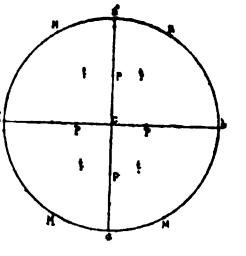


Fig. 227.

En résumé, nous avons sept espèces de formes simples holoédriques : 1) *Faces terminales de front* { 100 }, 2) *Faces terminales de profil* { 010 }, 3) *Faces de base* { 001 }, 4) *Prismes verticaux* { *hko* }, 5) *Prismes de front* { *hol* }, 6) *Prismes de profil* { *okl* }, 7) *Pyramides* { *hkl* }.

Si dans la projection stéréographique (fig. 227) d'un cristal de Cerussite ($PbCO_3$ ayant pour rapport des axes $a : b : c = 0,6102 : 1 : 0,7232$) sur la face (001) nous choisissons

$t = \{1a : 1b : 1c\} = \{111\}$, on en déduit :
$a = \{a : \infty b : \infty c\} = \{100\}$; $M = \{1a : 1b : \infty c\} = \{110\}$
$b = (\infty a : 1b : \infty c) = \{010\}$; $P = \{\infty a : 1b : 1c\} = \{011\}$; $p = \{1a : \infty 1 : 1c\} = \{101\}$.

Les pôles des faces des prismes verticaux $\{hko\}$ tombent sur la projection de la zone (100) : (010), qui est le cercle fondamental; les pôles des prismes de front $\{hol\}$ sont situés sur la zone (001) : (100), et enfin ceux des prismes de profil $\{okl\}$ font partie de la zone (001) : (010). Seuls, les pôles des faces de pyramide $\{hkl\}$ tombent en dehors de ces zones.

Combinaisons holoédriques. — La figure 228 représente un cristal de Cérussite (rapport des axes $a : b : c = 0{,}6102 : 1 : 0{,}7232$); on y voit la pyramide $\{111\} = t$ en combinaison avec le prisme de profil $\{021\} = u$.

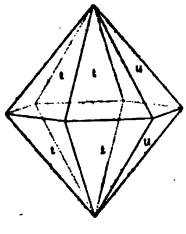


Fig. 228.

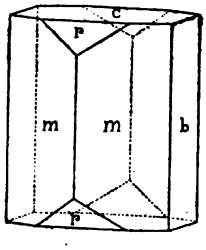


Fig. 229.

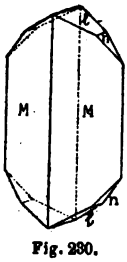


Fig. 230.

Le cristal de Staurotide (fig. 229, rapport des axes $a : b : c = 0{,}4803 : 1 : 0{,}6761$) est terminé par les formes $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $m = \{110\}$ et $r = \{101\}$. Le Mispickel (FeSAs, rapport des axes $a : b : c = 0{,}6851 : 1 : 1{,}1859$) se présente souvent en cristaux allongés suivant l'axe vertical

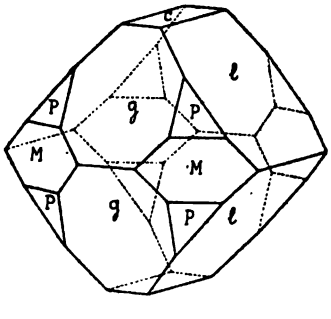


Fig. 231.

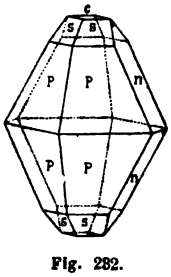


Fig. 232.

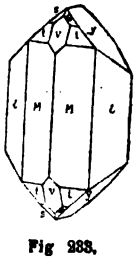


Fig 233.

(fig. 230) et terminés par le prisme vertical $M = \{110\}$ et deux prismes de profil $l = \{011\}$ et $n = \{012\}$. La figure 231 nous offre une autre combinaison rhombique et représente un cristal de Marcassite (FeS_2) limité par les formes $g = \{101\}$, $l = \{011\}$, $M = \{110\}$ $P = \{111\}$, $c = \{001\}$; les arêtes de $\{111\}$ sont tronquées normalement par les faces des trois prismes

g, *l* et M. La modification rhombique du soufre possède ordinairement la forme du cristal représenté par la figure 232; la pyramide fondamentale P = { 111 } est, de beaucoup, la forme dominante; on remarque ensuite les faces du prisme de profil *n* = { 011 }, et de la pyramide *s* = { 113 }; les faces *s* remplacent les angles culminants de la pyramide primaire { 111 } par un pointement quadruple, tronqué à son tour par la base *c* = { 001 }.

Citons en terminant le cristal de Topaze fig. 233 (rapport des axes *a* : *b* : *c* = 0,5285 : 1 : 0,4768); il est terminé par deux prismes verticaux M = { 110 } et *l* = { 120 }, le prisme de profil *y* = { 021 }, le prisme de front *v* = { 201 } et deux pyramides, *t* = { 221 } et *s* = { 111 }. On y remarque plusieurs zones, par exemple : (110) : (201) : (1$\bar{1}$1) : (0$\bar{2}$1); puis : (110) : (221) : (111) etc.

FORMES MÉRIÉDRIQUES : On distingue, dans ce système, deux espèces de mériédries: l'*hémimorphie rhombique* et l'*hémiédrie sphénoïdale*.

Hémimorphie rhombique (fig. 234). — Supposons que les faces d'une forme rhombique qui se trouvent du même côté d'un plan de symétrie donné viennent à disparaître, et que les autres faces continuent à subsister, nous aurons des formes désignées sous la qualification de *formes hémimorphes*. Pour fixer les idées supposons que les quatre faces d'une pyramide rhombique qui se trouvent au-dessus du plan de symétrie horizontal (001) se développent seules; l'hémipyramide qui en résulte ne possède plus que deux plan de symétrie: (010) et (100); l'axe qui est perpendiculaire au plans de symétrie supprimé (001) est appelé « *axe hémimorphe* ». On voit aisément que toutes les formes sont affectées par cette hémimorphie, sauf celles dont les faces sont parallèles à l'axe hémimorphe; ainsi, pour un cristal dont l'axe hémimorphe est identique avec l'axe *c* les faces terminales verticales et les prismes verticaux restent intacts, tandis que les autres formes engendrent des mériédres hémimorphes qui ne présentent que la moitié des faces des holoèdres dont ils dérivent. Nous désignons les formes hémimorphes en faisant précéder le symbole d'une de leurs faces par la lettre grecque ε; la forme holoédrique { *hkl* }, par exemple, donne ainsi ε { *hkl* } et ε { *hk*$\bar{l}$ }.

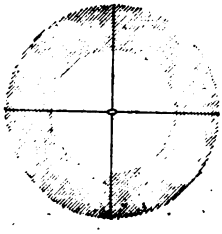


Fig. 234.

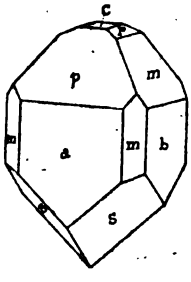


Fig. 235.

La figure 235 qui représente un cristal de Calamine ($Zn_2SiO_4 + H_2O$, rapport des axes *a* : *b* : *c* = 0,7835 : 1 : 0,4778) donne un exemple d'hémimor-

phie : à l'extrémité supérieure ce cristal est terminé par les formes $c = \varepsilon\{001\}$, $m = \varepsilon\{031\}$, $p = \varepsilon\{301\}$ et $r = \varepsilon\{011\}$, à l'extrémité inférieure par l'hémipyramide $s = \varepsilon\{12\bar{1}\}$; les formes $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $m = \{110\}$ étant parallèles à l'axe c qui est l'axe hémimorphe présentent toutes leurs faces.

Un autre exemple nous est offert par le cristal de Struvite ($NH_4 Mg PO_4, 5H_2O$; rapport des axes $a : b : c = 0,5626 : 1 : 0,9163$) (fig. 236); il est terminé à l'extrémité supérieure de l'axe vertical (axe hémimorphe) par les formes $o = \varepsilon\{101\}$, $n = \varepsilon\{041\}$, $e = \varepsilon\{011\}$; à l'extrémité inférieure de cet axe, au contraire, on observe les formes $d = \varepsilon\{103\}$ et $c = \varepsilon\{00\bar{1}\}$. La forme $b = \{010\}$ dont les faces sont parallèles à l'axe c, n'est pas sujette à l'hémimorphie.

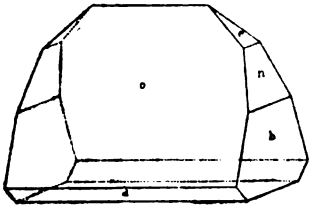


Fig. 236.

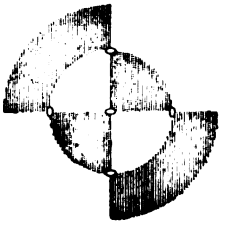


Fig. 237.

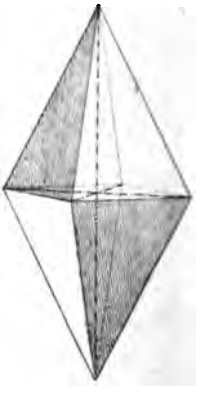


Fig. 238.

Hémiédrie sphénoïdale (fig. 237). — Les huit espaces élémentaires déterminés par les trois plans de symétrie ne sont égaux que par alternance. En comparant les figures 237 et 227 on voit que les pyramides rhombiques seules sont sujettes à cette hémiédrie, car les pôles des faces des autres formes se trouvant sur la projection des plans de symétrie, ces faces ont leurs normales situées dans les plans de symétrie, et appartiennent par conséquent à deux octants voisins; une différence entre ces derniers n'aura donc pas d'influence sur elles.

La pyramide holoédrique $\{hkl\}$ (fig. 238) à huit faces se divise par hémiédrie en deux solides hémiédriques ou *Sphénoïdes* $\times\{hkl\}$ et $\times\{\bar{h}kl\}$ indépendants l'un de l'autre, et dont l'un nommé *Sphénoïde droit* comprend les faces (hkl), (hkl), $(h\bar{k}\bar{l})$, $(\bar{h}\bar{k}\bar{l})$ (fig. 239) tandis que l'autre appelé *Sphénoïde gauche* présente les faces $(\bar{h}\bar{k}l)$, $(\bar{h}kl)$, $(h\bar{k}\bar{l})$, $(\bar{h}\bar{k}\bar{l})$ (fig. 240).

Les faces sont des triangles scalènes. Les axes cristallographiques joignent les milieux de deux arêtes opposées par le centre.

Les cristaux d'Epsomite ($MgS_4O.\ 7H_2O$, rapport des axes $a : b : c =$ 0,9901 : 1 : 0,5709) offrent un exemple typique de cette hémiédrie (fig. 241).

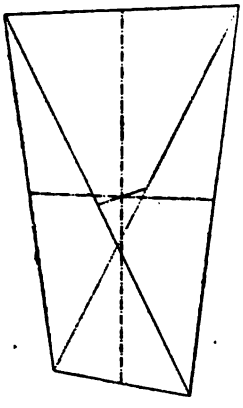


Fig. 239.

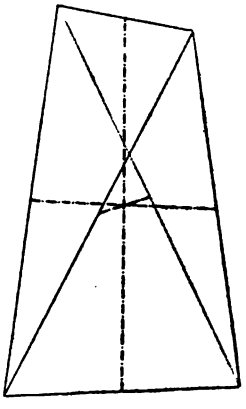


Fig. 240.

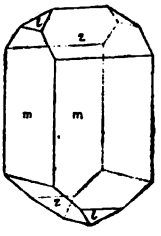


Fig. 241.

On y observe les formes $m = \varkappa\{110\}$, $z = \varkappa\{111\}$ et $l = \varkappa\{1\bar{1}1\}$. Le prisme $m = \{110\}$ se présente dans les mêmes conditions que pour les cristaux holoédriques.

V. SYSTÈME MONOCLINIQUE.

Cristaux holoédriques. — Ces cristaux n'ont qu'un seul plan de symétrie.

Dans le cristal de la fig. 242 le plan de symétrie est parallèle à la face *b*. A une face quelconque inclinée sur le plan de symétrie correspondent sa

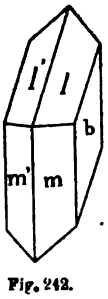


Fig. 242.

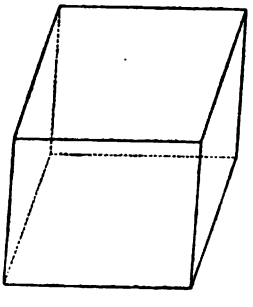


Fig. 243.

parallèle, la symétrique et la parallèle de cette dernière; un cristal monoclinique peut donc, en général, présenter des groupes de quatre faces coexistantes. On remarque aussi dans ce système des couples de faces parallèles indépendants; ce sont les couples de faces qui sont perpendiculaires ou parallèles au plan de symétrie.

A. **Faces terminales.** — La symétrie du système nous conduit à prendre comme faces terminales, tout d'abord une face parallèle au plan de symétrie; elle constitue avec sa parallèle le couple de *Faces terminales de profil* $b = \{010\}$. Ensuite pour les deux autres faces terminales (*Faces terminales de front* $a = \{100\}$ et *Faces terminales de base* $c = \{001\}$), on choisit deux couples de faces perpendiculaires au plan de symétrie; lorsqu'il existe un clivage suivant des faces perpendiculaires au plan de symétrie, on choisit celles-ci de préférence comme faces terminales de front ou de base. On place le cristal de manière à ce que la ligne d'intersection de $b = \{010\}$ avec $a = \{100\}$ soit verticale et que la face $c = \{001\}$ soit inclinée vers le spectateur.

Les trois faces terminales donnent par leurs intersections les directions des axes. Si l'on combine ces trois faces on obtient une forme semblable à la figure 243 où le plan de symétrie est parallèle aux faces de profil $\{010\}$.

L'axe de front est perpendiculaire au plan de symétrie et par conséquent perpendiculaire à l'axe vertical (c) et à l'axe de profil (a); on l'appelle *Orthodiagonale*, tandis que l'axe de profil (a) qui est incliné sur l'axe vertical d'un angle β (angle obtus), prend le nom de *Clinodiagonale* (fig. 244).

Les axes d'un cristal monoclinique sont inégaux, leur rapport est $a : b : c$ dans lequel b est généralement pris comme unité. (a : 1 : c)

B. **Faces de prismes.** — Les faces des *Prismes de front* $\{hol\}$ sont perpendiculaires au plan de symétrie, ces prismes sont donc formés de deux

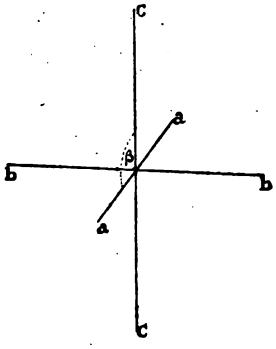


Fig. 244.

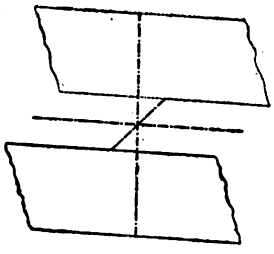


Fig. 245.

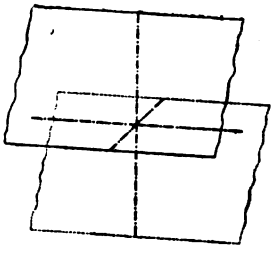


Fig. 246.

faces seulement; c'est pourquoi on les appelle aussi *Hémiprismes*; il y a deux hémiprismes qualifiés, l'un de *positif* $\{\bar{h}ol\}$ (fig. 245) et l'autre de *négatif* $\{hol\}$ (fig. 246); le premier se compose des deux faces $(\bar{h}ol)$, $(h\bar{o}l)$ et le second des faces $(ho\bar{l})$ et $(\bar{h}o\bar{l})$.

Les *Prismes verticaux* $\{hko\}$ (fig. 247) et les *Prismes de profil* $\{okl\}$ (fig. 248) se composent de deux couples de faces, car toute face oblique au plan

de symétrie exige, d'après la symétrie du système, une face semblable qui lui correspond de l'autre côté du plan de symétrie, en outre les deux faces ainsi obtenues demandent leurs parallèles.

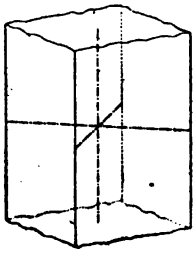


Fig. 247.

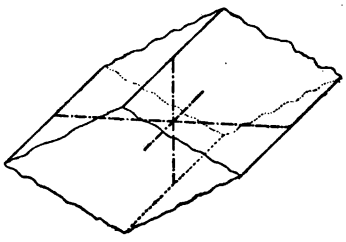


Fig. 248.

c. **Faces de pyramides.** — Toute face de pyramide est oblique au plan de symétrie et apparaît quatre fois; une pyramide monoclinique ne se compose donc que de deux couples de faces parallèles, ce qui lui a valu le nom d'*Hémipyramide*, vu que, d'ordinaire, une pyramide complète en a quatre. On distingue ordinairement une pyramide positive $\{\bar{h}kl\}$ et une autre

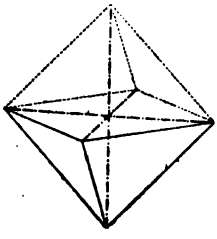


Fig. 249.

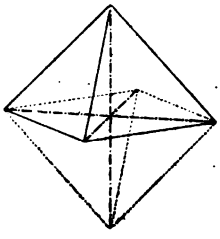


Fig. 250.

négative $\{hkl\}$; le symhole général $\{hkl\}$ (fig. 250) comprend les faces (hkl), $(h\bar{k}l)$, $(\bar{h}\bar{k}\bar{l})$ et $(\bar{h}k\bar{l})$, tandis que $\{\bar{h}kl\}$ (fig. 249) désigne l'ensemble des faces $(\bar{h}kl)$, $(\bar{h}\bar{k}l)$, $(h\bar{k}\bar{l})$ et $(hk\bar{l})$ qui constituent la pyramide positive.

Si les faces d'une hémipyramide monoclinique viennent à se développer de tous les côtés, elles forment un prisme, dont l'axe est situé dans le plan de symétrie, mais n'est parallèle ni à l'axe de profil ni à l'axe vertical.

Les formes simples du système sont donc : 1) *Faces terminales de front* $\{100\}$, 2) *Faces terminales de profil* $\{010\}$, 3) *Faces terminales de Base* $\{001\}$, 4) *Prismes verticaux* $\{hko\}$, 5) *Prismes de front* $\{hol\}$ et $\{\bar{h}ol\}$, 6) *Prismes de profil* $\{okl\}$, 7) *Pyramides* $\{hkl\}$ et $\{\bar{h}kl\}$.

La figure 251 représente une projection stéréographique du cristal d'Orthose fig. 59 sur la face (100) qui tronquerait normalement l'arête T : T'; elle montre nettement la disposition des pôles des diverses espèces de formes que nous venons d'étudier; on y voit les pôles des faces $b = (010)$, $b' = (0\bar{1}0)$

$c = (001)$, $T = (110)$, $T' = (1\bar{1}0)$, $n = (021)$, $n' = (0\bar{2}1)$, $x = (10\bar{1})$, $y = (20\bar{1})$, $o = (11\bar{1})$, $o' = (1\bar{1}\bar{1})$, et l'on constate que ceux qui appartiennent aux prismes verticaux $\{hko\}$, aux prismes de front $\{hol\}$ et aux prismes de

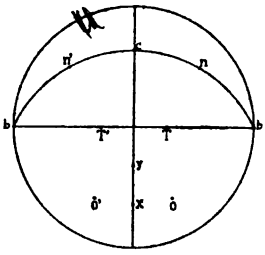


Fig. 251

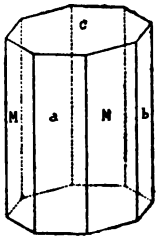


Fig. 252.

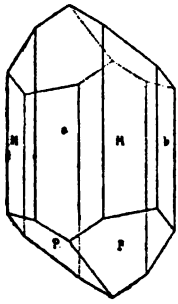


Fig. 253.

profil $\{okl\}$ sont respectivement situés sur les zones fondamentales (100) : (010); (100) : (001) et (001) : (010), tandis que les pôles des faces de pyramide $\{hkl\}$ tombent en dehors de ces zones.

Combinaisons. — La figure 252 représente un cristal d'Augite (rapport des axes $a : b : c = 1{,}0903 : 1 : 0{,}5899$, $\beta = 105°49'$) terminé par les formes $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $M = \{110\}$. Un autre cristal d'Augite est donné par la figure 253; cette combinaison, très-fréquente, se compose des formes $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $M = \{110\}$, $P = \{\bar{1}11\}$.

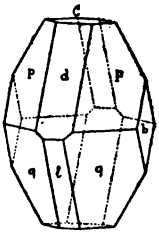


Fig. 254.

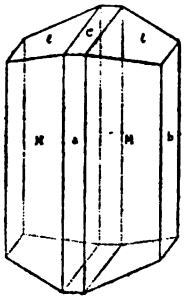


Fig. 255.

Dans le cristal de Lazulite (fig. 254, rapport des axes $a : b : c = 0{,}9747 : 1 : 1{,}6940$, $\beta = 91°58'$) les faces des deux pyramides $p = \{111\}$ et $q = \{\bar{1}11\}$ dominent notablement, on observe aussi l'hémiprisme de front $d = \{101\}$ tronquant les arêtes que la pyramide $\{111\}$ formerait dans le plan de symétrie, et l'hémiprisme de front $l = \{10\bar{1}\}$ qui se comporte de la même manière à l'égard de la pyramide $q = \{11\bar{1}\}$; enfin les formes $b = \{010\}$ et $c = \{001\}$ tronquent les angles formés par les faces des deux

pyramides aux extrémités de l'axe de front et de l'axe vertical. La Hornblende (rapport des axes $a : b : c = 0{,}5318 : 1 : 0{,}2936$, $\beta = 104°50'$) offre souvent la combinaison représentée par la figure 255 : $M = \{110\}$, $l = \{011\}$, $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$. Le cristal de Linarite ($PbSO_4$. Cu $(oH)_2$, rapport des axes $a : b : c = 1{,}7186 : 1 : 0{,}8272$, $\beta = 102° 38'$) représenté fig. 256 montre le cas très-rare d'un allongement suivant l'axe de front; cet allongement est provoqué par la prédomi-

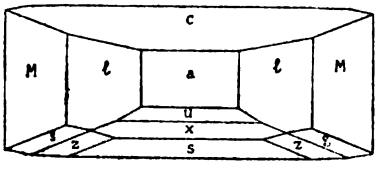


Fig. 256.

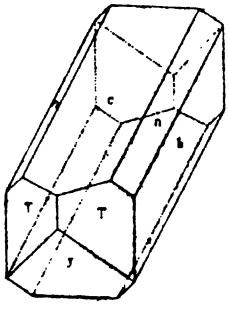


Fig. 257.

nance des prismes de front $s = \{10\bar{1}\}$, $x = \{30\bar{2}\}$, $u = \{20\bar{1}\}$ et des faces terminales $a = \{100\}$, $c = \{001\}$; on observe en outre les prismes verticaux $M = \{110\}$. $l = \{210\}$. et, dans la zone M : s, les pyramides $z = \{81\bar{7}\}$, $g = \{21\bar{1}\}$.

Enfin le cristal d'Orthose (fig. 257) fournit un exemple de l'allongement suivant l'axe de profil (axe a); le développement extraordinaire des formes $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $n = \{021\}$ l'emporte de beaucoup sur celui des formes $T = \{110\}$, $y = \{20\bar{1}\}$. Si, dans la combinaison de la fig. 59 on supprime les faces o et x, et que l'on suppose que les formes b, c, n prennent un plus grand développement. on arrive à la combinaison représentée fig. 257. Remarquons que le cristal fig. 59 se distingue par les nombreuses zones qui lient ses faces entre elles; nous renvoyons pour cela à la projection stéréographique fig. 62.

VI. SYSTÈME TRICLINIQUE.

Les cristaux de ce système n'ont plus aucun plan de symétrie; ils sont terminés par des couples de faces parallèles, indépendants les uns des autres; à une face quelconque ne correspond que sa parallèle, aucune autre face n'a de relations avec elle.

Si on choisit arbitrairement comme faces terminales trois faces existantes ou possibles, qui ne sont pas situées dans la même zone, leurs intersections

donnent la direction des axes; ceux-ci se coupent sous des angles α, β, γ qui sont différents de 90° (fig. 50). On désigne par α l'angle compris entre l'axe vertical $+c$ et l'axe de front $+b$; par β celui qui est formé par l'axe vertical $+c$ et l'axe de profil $+a$, et par γ l'angle formé par l'axe de front $+b$ et l'axe de profil $+a$. Les angles α, β, γ varient pour les différents minéraux tricliniques.

Les axes d'un cristal triclinique sont inégaux; dans leur rapport on prend ordinairement $b = 1$; en général on place les cristaux de manière à ce que les angles α et β, et si possible l'angle γ soient supérieurs à 90°, et l'on prend pour pyramide fondamentale un couple de faces telles que l'axe a soit plus court que l'axe b, il en résulte que l'angle obtus du prisme $\{110\}$ se trouve en général en face de l'observateur.

Le système comprend les formes suivantes :

A. **Faces terminales.** — *Trois couples de faces terminales*, parallèles aux trois plans d'axes; ils sont ordinairement désignés par les lettres a, b, c;

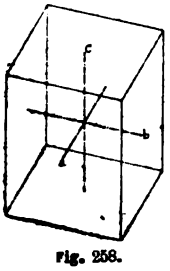


Fig. 258.

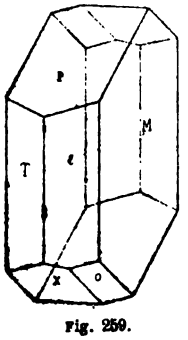


Fig. 259.

$a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$. La figure 258 montre une combinaison de ces trois formes; les axes passant par le centre des faces sont parallèles aux intersections des plans (100), (010) et (001).

B. **Faces de prismes.** — *Prismes verticaux* du symbole général $\{hko\}$
» *de front* » » » $\{hol\}$
» *de profil* » » » $\{okl\}$

C. **Faces de pyramides.** — Pyramides à deux faces parallèles du symbole général $\{hkl\}$. Il y a donc, ici encore, sept espèces de formes simples.

Remarquons que les prismes n'étant composés que de deux faces au lieu de quatre comme c'est ordinairement le cas, sont désignés aussi sous le nom d'*Hémiprismes*; de même, les pyramides ont reçu le nom de *Tétartopyramides* parce qu'elles n'ont que deux faces, c'est-à-dire le quart des faces des pyramides ordinaires.

Combinaisons. — Prenons comme exemple le cristal d'Albite ($Na_2Al_2Si_6O_{16}$, rapport des axes $a : b : c = 0{,}6335 : 1 : 0{,}5577$; $\alpha = 94° 3'$.

$\beta = 118° 29'$, $\gamma = 88° 9'$; fig. 259). Il présente les faces P et M qu'on peut considérer comme faces terminales. Une face k située dans la zone P : x et dans la zone T : l : M, et qui par conséquent est une face possible, peut être choisie comme troisième des faces qui déterminent les axes par leurs intersections.

Nous avons dit que le choix des trois faces terminales est arbitraire pour les cristaux triclinıques; toutefois pour le cristal d'Albite (fig. 259) les faces P et M sont choisies de préférence à d'autres parce que ce sont des directions de clivage. Pour le même motif T et l sont pris comme prismes verticaux primaires. Ensuite si x est envisagé comme une face prismatique primaire de front, on voit par les zones M : o : x, P : l : o, que o est une face de pyramide primaire. Les différentes formes présentées par le cristal ont donc pour paramètres et pour indices :

$$P = \{\infty a : \infty b : c\} = \{001\} \qquad M = \{\infty a : b : \infty c\} = \{010\}.$$
$$l = \{a : b : \infty c\} = \{110\} \qquad T = \{a : \bar{b} : \infty c\} = \{1\bar{1}0\}.$$
$$o = \{a : b : \bar{c}\} = \{1\bar{1}1\} \qquad x = \{a : \infty b : \bar{c}\} = \{10\bar{1}\}.$$

Le cristal de la fig. 260 représente une combinaison du Feldspath *Oligoclase*, qui est un mélange isomorphe de $NaAlSi_3O_8$ et de $CaAl_2Si_2O_8$, et

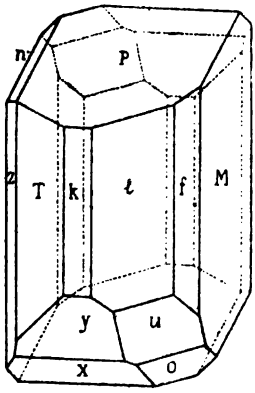


Fig. 260.

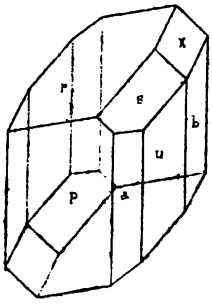


Fig. 261.

dont le rapport des axes est presque identique à celui de l'Albite. On y observe les faces terminales $k = \{100\}$, $M = \{010\}$, $P = \{001\}$; quatre prismes verticaux : $l = \{110\}$, $T = \{1\bar{1}0\}$, $f = \{130\}$, $z = \{1\bar{3}0\}$; deux prismes de front : $y = \{2\bar{0}1\}$, $x = \{10\bar{1}\}$; un prisme de profil : $n = \{0\bar{2}1\}$; enfin les deux pyramides $u = \{22\bar{1}\}$ et $o = \{1\bar{1}1\}$.

Un autre exemple nous est donné par le cristal d'Axinite de la fig. 261 (rapport des axes $a : b : c = 0,4928 : 1 : 0,4809$; $\alpha = 82°44'$, $\beta = 91°56'$, $\gamma = 131°33'$); il est terminé par les faces terminales $a = \{100\}$ et $b = \{010\}$, deux prismes verticaux $u = \{110\}$ et $p = \{\bar{1}10\}$, un prisme de front $s = \{201\}$, et les deux pyramides $x = \{111\}$ et $r = \{1\bar{1}1\}$.

Pour terminer, considérons encore le cristal de sulfate de cuivre ($CuSO_4$. $5H_2O$, fig. 261). Si nous prenons ici $a = \{100\}$, $b' = \{0\bar{1}0\}$, $c = \{001\}$, $q = \{011\}$, $k = \{0\bar{1}1\}$ le cristal aura pour rapport des axes

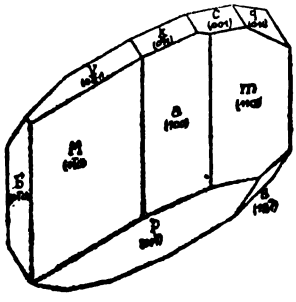


Fig. 262.

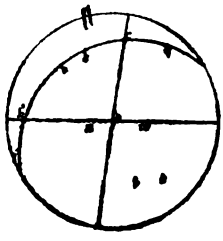


Fig. 263.

$a : b : c = 0{,}5656 : 1 : 0{,}5499$; $\alpha = 97° 39'$, $\beta = 106° 49'$, $\gamma = 77° 47'$ et les autres formes recevront les symboles suivants : $m = \{110\}$, $M = \{1\bar{1}0\}$, $v = \{0\bar{2}1\}$, $p = \{11\bar{1}\}$, $s = \{12\bar{1}\}$. La liste qui suit donne les valeurs de quelques angles importants :

(001) : (100) = 74°22′, (001) : (010) = 85°38′, (100) : (010) = 100°41,
(100) : (110) = 30°51′, (100) : (1$\bar{1}$0) = 25°59′, (001) : (011) = 27°20′,
(001) : (0$\bar{1}$1) = 29°18′, (001) : (021) = 49°32′, (010) : (11$\bar{1}$) = 76°33′,
(010) : (12$\bar{1}$) = 55° 2 1/2. Les cristaux sont ordinairement aplatis suivant les faces p qui l'emportent de beaucoup sur les autres par leur développement. La figure 263 donne une projection stéréographique des faces du cristal sur la face $a = (100)$; on voit que les pôles des faces des prismes verticaux et des prismes de profil sont situés respectivement sur les zones (100) : (0$\bar{1}$0) et (010) : (001). Si le cristal possédait des prismes de front leurs pôles se trouveraient sur la zone (001) : (100). Seules les faces de pyramides p et s ne font pas partie de ces trois zones principales; cependant leurs pôles sont faciles à déterminer; ainsi par exemple, p se trouve à l'intersection des zones $k : a$ et $c : m$; p étant déterminé on trace la zone $b' : p$ et la zone $v : a$, leur point d'intersection détermine la position de s.

Remarquons que la projection stéréographique ne montre aucune symétrie.

CRISTAUX MACLÉS.

Les cristaux sont rarement isolés; ordinairement on observe des groupements de deux, trois ou plusieurs cristaux. Dans ces groupements l'orientation réciproque des différents cristaux peut être quelconque (groupements irréguliers) ou bien elle est faite suivant une loi déterminée (groupements réguliers). Deux cas peuvent se présenter pour cette dernière catégorie : deux

ou plusieurs cristaux d'une même espèce minérale sont accolés ou se compénètrent en conservant le parallélisme de leurs axes (groupements à axes parallèles); ou bien leur groupement déterminé s'effectue suivant d'autres règles : dans ce dernier cas on dit que les cristaux sont *maclés*.

Généralement les cristaux maclés sont groupés de manière à être symétriques par rapport à une face possible ou existante, commune à chacun des cristaux individuels; en d'autres termes : un des cristaux est comme l'image de l'autre réfléchie par un miroir qu'on suppose placé parallèlement à une face du cristal.

La figure 264 donne l'exemple d'un cas particulier : elle représente, en traits pleins, deux cristaux de Gypse ($b = \{010\}$, $f = \{110\}$, $l = \{111\}$) en projection orthogonale sur $b = (010)$; ces cristaux sont orientés de façon à ce que l'un représente l'image de l'autre par rapport à un plan réfléchissant qui serait parallèle à $a = (100)$, face qui tronquerait normalement l'arête antérieure du prisme $f = \{110\}$; le plan réfléchissant a, qui est naturellement perpendiculaire à b, se projette suivant la droite MN. Si les deux

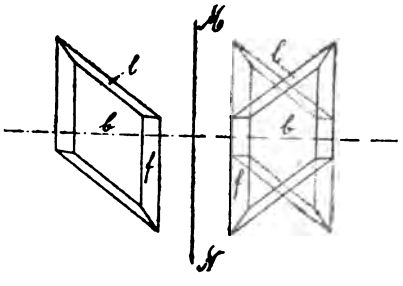


Fig. 264.

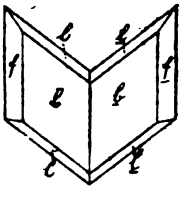


Fig. 265.

cristaux, tout en gardant leurs positions relatives venaient à s'accoler, ils formeraient une macle (fig. 265). Le plan par rapport auquel les deux cristaux sont symétriques se nomme *plan de macle* et la normale à ce plan est *l'axe de macle*.

L'examen de la figure 264 démontre que si l'on suppose le cristal droit placé dans une position parallèle à celle du cristal gauche (c'est-à-dire dans une position telle que ses axes soient parallèles à ceux du cristal gauche, traits pointillés fig. 264) et qu'on le fasse tourner d'un angle de 180° autour de la normale à $a = (100)$ (axe de macle), le cristal droit se trouvera en position maclée par rapport au plan (100).

On peut aussi expliquer géométriquement la position relative de deux individus maclés par rapport à un plan donné (plan de macle) en supposant que le cristal soit sectionné parallèlement à ce plan, et que, l'une des deux moitiés restant fixe, l'autre soit tournée d'un angle de 180° autour de l'axe de macle (fig. 266).

On comprend pourquoi le plan de macle ne peut pas être un plan de symétrie des cristaux simples, car dans ce cas les deux individus présenteraient, après rotation, un groupement à axes parallèles.

Le plan de macle peut être : 1° parallèle à une face possible, 2° perpendiculaire à une arête possible, 3° perpendiculaire à une face possible et en même temps parallèle à une arête possible contenue dans cette face.

Les cristaux maclés peuvent être également grands ou avoir des dimensions inégales ; ils peuvent se présenter l'un et l'autre régulièrement développés, ou, comme cela arrive fréquemment, les deux individus peuvent être déformés.

La limite des deux individus est souvent le plan de macle ; on dit alors que le plan de macle est identique au *plan d'assemblage*.

Quelquefois les deux individus sont unis suivant une face perpendiculaire au plan de macle, d'autres fois ils sont unis suivant un autre plan, ou, enfin, l'assemblage ne se fait plus suivant un plan unique, mais suivant une série de plans successifs.

On distingue des macles par *juxtaposition* et des macles par *pénétration*. Pour les premières le plan d'assemblage est généralement un seul plan, sou-

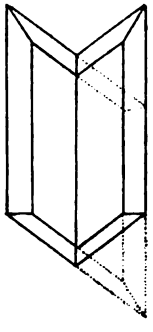


Fig. 266.

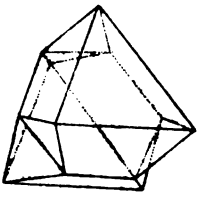


Fig. 267.

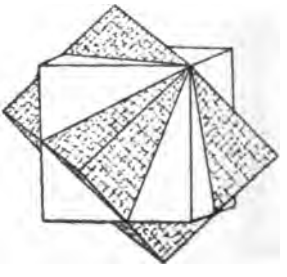


Fig. 268.

vent c'est le plan de macle ; les deux individus sont ordinairement aplatis suivant ce plan (voir macle de Magnétite fig. 267).

Dans le cas des macles par pénétration les individus sont enchevêtrés et entrecroisés (macle de Fluorine fig. 268).

Une classe spéciale de macles est celle des *macles complémentaires* ; elles sont formées de deux cristaux hémiédriques groupés de manière à ce que leur macle présente la symétrie de l'holoèdre dont ils dérivent ; (macle de Pyrite fig. 269).

Quand les cristaux maclés sont accolés suivant un plan, on voit souvent à la limite des deux individus, des angles saillants et rentrants ; on reconnaît cette limite aux angles rentrants. Si les faces des deux individus, à l'endroit

où ils s'unissent, sont situées dans un même plan, la limite se montre souvent sous la forme d'une ligne assez fine, droite ou ondulée; c'est surtout le cas lorsque les deux individus présentent des systèmes de stries qui viennent se couper sous un angle le long du plan d'assemblage (cristaux de Gypse, fig. 270).

Quelquefois les macles sont répétées : trois ou plusieurs individus sont unis, maclés, suivant la même loi. Si dans le cas de ces macles multiples,

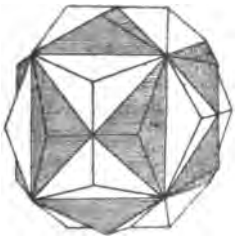


Fig. 269.

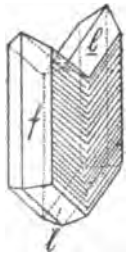


Fig. 270.

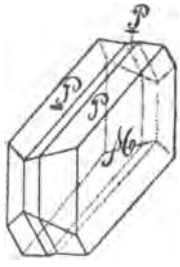


Fig. 271.

les plans d'assemblage sont tous parallèles, on les désigne sous le nom de *macles répétées* (cristaux de Plagioclase fig. 271). Lorsque ces plans ne sont pas parallèles les macles portent le nom de *macles en cycle*.

Nous donnerons ici quelques exemples de macles des divers systèmes cristallins.

1° *Système Cubique.* La macle la plus fréquente de ce système a pour plan de macle une face d'octaèdre (fig. 267 et 268). La figure 272 montre deux tétraèdres maclés suivant la face du cube; c'est une macle complémentaire.

2° *Système Hexagonal.* Une macle qu'on observe souvent aux cristaux de Calcite

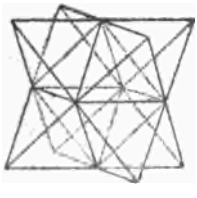


Fig. 272.

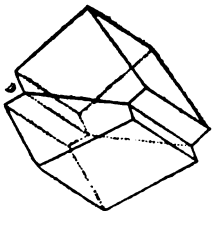


Fig. 273.

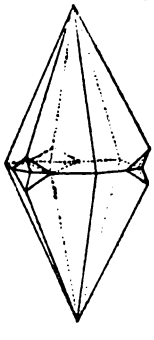


Fig. 274.

a pour plan de macle une face de $\{01\bar{1}2\}$ (fig. 273). On voit dans cette figure deux rhomboèdres primitifs qui ne sont représentés que partiellement, et dont le plan d'assemblage est la face qui tronque l'arête polaire. Souvent cette macle est répétée et l'on observe alors que les individus sont réduits à des lamelles souvent très-minces. Une autre macle, également très fréquente, a pour plan de macle le pinacoïde (0001). La figure 274 montre deux scalénoèdres maclés d'après cette loi.

3° *Système Quadratique.* Les macles de ce système ont souvent pour plan de macle une face de la deutéropyramide (101). Exemples : macles de Cassitérite (fig. 275), de Rutile (fig. 276).

4° *Système Rhombique.* La loi que l'on constate le plus souvent est la suivante : plan de macle une face du protoprisme (110); exemple : l'Aragonite (fig. 277); le plan de macle est en même temps le plan d'assemblage. Dans la Staurotide on observe des macles suivant une face de { 032 } (fig. 278); très-fréquemment les deux

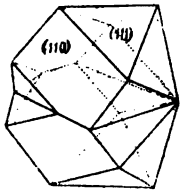


Fig. 275.

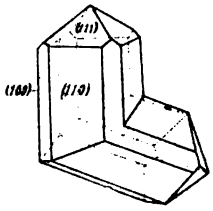


Fig. 276.

Fig. 277.

individus se compénètrent et forment alors des macles par pénétration (fig. 279).

5° *Système Monoclinique.* On observe souvent des macles de cristaux monocliniques dans lesquelles (100) est le plan de macle; le Gypse en offre un exemple représenté par la figure 270; pour ce minéral le plan de macle est aussi le plan d'assemblage. Le Feldspath Orthose maclé suivant la loi de Carlsbad a également (100) pour plan de macle, (fig. 280) mais le plan d'accolement est ici (010).

6° *Système Triclinique.* Comme les cristaux de ce système n'ont pas de plan de

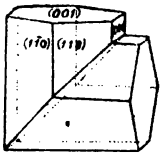


Fig. 278.

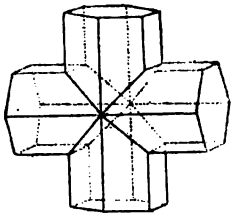


Fig. 279.

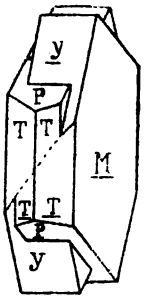


Fig. 280.

symétrie, on peut rencontrer des macles suivant toutes les faces existantes ou possibles.

Le cristal de Plagioclase représenté par la figure 281 a comne plan d'assemblage la face M qui est en même temps plan de macle.

Souvent cette macle est répétée, les individus en lamelles apparaissent, principalement sur la face P, sous la forme de stries très fines. (Macles polysynthétiques des plagyoclases, fig. 271).

Généralement les macles se produisent au moment même de la cristallisation; dans certains cas cependant un cristal peut devenir maclé sous l'influence de causes exerçant leur action après qu'il est formé. Des macles peuvent se produire par *pression* ou par *élévation de température*.

Bornons-nous à rappeler une expérience bien connue, dans laquelle un cristal simple se transforme en macle sous l'influence de la pression. Un prisme de clivage de Calcite (*rhom* — *r'h'o'm'*, fig. 282) étant posé horizontalement sur l'une de ses arêtes, on appuie le tranchant d'un canif sur l'arête opposée, normalement à sa direction : à un moment donné le cristal cède à la pression comme une substance plastique et toute la partie (*bne* — *r'm'h'*) séparée par l'outil, et qui est limitée intérieurement par une face de $\{01\bar{1}2\}$, s'incline en sens inverse du reste du cristal et se

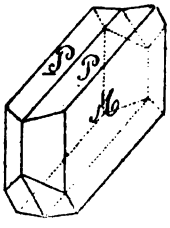


Fig. 281.

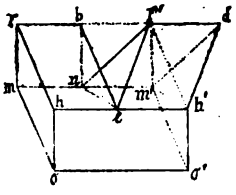


Fig. 282.

place dans la position *r'ne* — *dm'h'* en produisant un angle rentrant (fig. 282); cette portion possède désormais une orientation optique et cristallographique inverse de la partie qui est demeurée fixe. Il y naît aussi des lamelles miroitantes qui ont la direction de lames polysynthétiques maclées suivant $\{01\bar{1}2\}$, macle très fréquente pour la Calcite.

Une autre expérience nous montre comment l'influence de la température peut provoquer la transformation d'un cristal simple en cristal maclé. En opérant sur des plaques de sulfate de potasse rhombique qui présentent des lamelles maclées, on voit ces lamelles se multiplier dès qu'elles sont soumises à une élévation de température. On a réussi à faire apparaître, dans les mêmes conditions, ces lamelles maclées sur des cristaux du même sel qui avant l'expérience se montraient simples.

Mimésie. — Il résulte de ce que nous avons dit à propos des macles, que le plan de macle est, en général, un plan de symétrie pour la macle même; on peut donc dire que le groupement de deux individus maclés possède une symétrie d'un ordre plus élevé que chacun des individus considéré séparément. Il est nécessaire, par conséquent, de distinguer entre la symétrie d'un seul individu et la symétrie du groupement de deux ou plusieurs individus.

Lorsque les cristaux sont terminés ou se compénètrent de telle façon qu'il n'y a pas d'angles rentrants, les macles ont l'aspect de cristaux simples et peuvent se macler de nouveau suivant un plan parfois différent du plan de la première macle, et ainsi de suite. De cette façon il peut

arriver qu'une substance cristallisant dans le système monoclinique, par exemple, forme des macles de plus en plus compliquées, qui finissent par

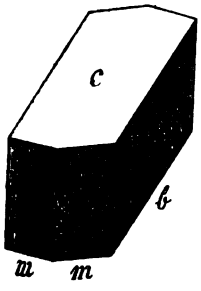


Fig. 283.

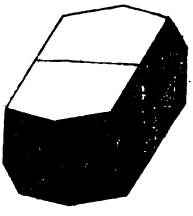


Fig. 284.

Fig. 285.

offrir, en apparence, la symétrie d'un cristal cubique. Les groupements d'individus maclés simulent donc, en quelque sorte, une symétrie qui

Fig. 286.

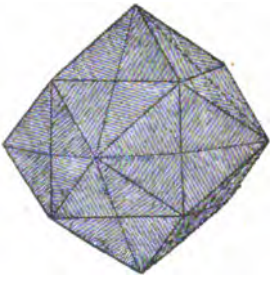


Fig. 287.

n'est pas celle de la substance dont ils sont constitués; ce phénomène a reçu le nom de *mimésie*.

Un exemple caractéristique de mimésie nous est offert par les cristaux de Phillipsite. Les cristaux simples de ce minéral appartiennent au système monoclinique (fig. 283; $c = \{001\}$; $b = \{010\}$; $m = \{110\}$; les faces du prisme $\{110\}$ ainsi que les faces terminales de profil $\{010\}$ sont ordinairement striées parallèlement à l'axe vertical.

Ces cristaux simples peuvent former, en premier lieu, des macles par pénétration suivant $c = \{001\}$ (fig. 284), qui ont en apparence trois plans de symétrie comme les cristaux rhombiques. Les différentes portions des faces terminales $\{010\}$ reconnaisables à la direction des stries qu'elles portent, se disposent dans un même plan, puisque les faces terminales $\{010\}$ sont perpendiculaires à la base $c = \{001\}$. Deux macles par pénétration représentées dans la figure 284 forment à leur

tour une macle par pénétration suivant une face du prisme de profil $\{011\}$ (fig. 285); quand, dans cette dernière macle les angles rentrants disparaissent, ce qui arrive souvent, le groupement prend exactement l'aspect d'un cristal quadratique. Enfin trois de ces groupements quadratiques peuvent être disposés comme l'indique la figure 286; dans ce cas les plans de la macle sont les faces du prisme $m = \{110\}$. Ce dernier groupement peut encore subir une légère modification: tous les angles rentrants peuvent disparaître à la suite de l'acroissement du cristal, ce qui donne au groupement l'aspect d'un dodécaèdre rhomboïdal (fig. 287).

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

DES CRISTAUX.

Les minéraux cristallisés représentant les êtres parfaits du monde minéral, on comprend que l'étude des propriétés physiques doive se faire, de préférence, sur les variétés cristallisées; nous traiterons donc surtout de la physique des cristaux.

Des relations étroites unissent les propriétés physiques aux caractères cristallographiques, et l'on peut énoncer ce principe que tous les plans de symétrie géométriques sont aussi plans de symétrie au point de vue physique, et que les propriétés physiques se retrouvent identiques suivant les mêmes directions géométriques.

1. DENSITÉ ET PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.

Densité. — La densité des minéraux est souvent un excellent moyen de lever l'incertitude relative à la détermination d'une espèce. Sa mesure s'effectue par divers procédés. Signalons d'abord le procédé de la *Balance hydrostatique;* on suspend le minéral, par un fil mince, à l'un des plateaux d'une balance, et après avoir fait équilibre dans l'autre plateau, ce qui donne le poids P du minéral dans l'air, on fait plonger le minéral dans un vase rempli d'eau distillée et fraîchement bouillie. Soit p le poids qu'il faut ajouter après l'immersion pour rétablir l'équilibre; p sera le poids d'un volume d'eau égal au volume du minéral. Donc la densité cherchée est $\frac{P}{p}$.

La méthode du *Pycnomètre* est la plus usitée; elle est aussi la plus exacte. Le pycnomètre se compose d'un petit flacon de verre fermé par un bouchon à l'émeri, que traverse un canal étroit. Le poids π du pycnomètre plein d'eau distillée, à une température qui doit toujours être la même, a été déterminé une fois pour toutes. Le minéral, en petits fragments, est d'abord pesé dans l'air, ce qui donne son poids P, puis introduit dans le pycnomètre, qu'on remplit exactement avec de l'eau distillée, de manière à ce qu'il ne reste plus de bulles d'air, ce dont on s'assure en soumettant l'instrument à l'ébullition. Soit P′ le poids de l'appareil dans ces conditions; ce nouveau poids se compose de $\pi + P - \alpha$, où α représente le poids de l'eau expulsée par l'intro-

duction du minéral ; donc $\alpha = \pi + P - P'$; par suite la densité cherchée est $\frac{P}{\pi + P - P'}$.

On peut se servir aussi de l'*Aréomètre de Nicholson* ou de la *Balance de Jolly*, deux instruments bien connus, qui sont d'un maniement facile, mais qui ne donnent pas de résultats très exacts.

Quand il s'agit de déterminer le poids spécifique d'un minéral de très-petite dimension, on le plonge dans une liqueur de densité très-élevée qu'on peut faire varier jusqu'au moment où le minéral reste suspendu ; le poids spécifique du minéral est alors égal à celui de la solution, et il ne reste qu'à déterminer la densité du liquide à l'aide de la balance de Mohr.

• • *Séparation des espèces minérales par ordre de densité.* Cette opération peut se faire à l'aide de certaines liqueurs d'une densité déterminée, dans lesquelles on introduit les minéraux réduits en grains suffisamment fins et de grosseur uniforme. Les minéraux plus denses que la liqueur iront au fond, tandis que ceux qui sont plus légers flotteront à la surface.

Cette méthode a été utilisée dans ces derniers temps pour isoler les différents minéraux qui composent les roches.

Les principales liqueurs qu'on emploie à cet usage sont :

1° La *Liqueur de Thoulet*, solution d'iodure mercurique dans l'iodure de potassium, atteignant une densité maxima de 3,2.

2° Un mélange d'*iodure de méthylène* et de *xylène*, liqueur qui a un poids spécifique de 3.

3° La *Liqueur de Rohrbach*, solution d'iodure mercuribarytique à son maximum de concentration. Cette liqueur a une densité égale à 3,588.

4° Une *solution d'iode et d'iodoforme dans l'iodure de méthylène* (poids spécifique 3,6 à 3,65) proposée par Retgers.

5° La *Liqueur de Klein*, qui consiste en une solution de borotungstate de cadmium ; elle atteint un poids specifique de 3,6 quand on la chauffe à 75°.

6° Des sels fondus, parmi lesquels nous mentionnerons $PbCl_2$, $HgCl_2 + 2KI$, $AgNO_3 + 3AgI$, $AgNO_3 + TlNO_3$. Ce dernier sel double, d'une densité de 5, a le double avantage de se fondre facilement (à 70°) et de diminuer de densité quand on le fait fondre en le mélangeant à des substances plus légères.

Les minéraux les plus lourds sont les métaux natifs, à commencer par l'Iridium (21,57 — 23,46), le Platine (17 — 18) ; l'Or (15,6 — 19,4). Les plus légers sont ceux qui proviennent du règne organique, comme le Pétrole (0,6 — 0,9) ; l'Asphalte (1,1 — 1,2) ; l'Ambre (1 — 1,1). Les minéraux les plus répandus à la surface du globe, comme le Quartz, les Silicates, la Calcite, n'ont qu'un poids spécifique oscillant entre 2 1/2 et 3 1/2, tandis que la densité de la terre est de 5,60 environ ; c'est-à-dire approximativement la densité du fer magnétique.

Cohésion. — (Clivage. — Faces de glissement. — Faces de décollement). On comprend sous le nom de cohésion la résistance qu'offrent les molécules

d'un corps à la rupture. Les propriétés des minéraux comprises sous les noms de *clivage*, *cassure*, *dureté*, *élasticité*, etc., sont dans une étroite dépendance de la cohésion.

Les directions de moindre cohésion dans un cristal déterminent la production de plans de *clivage;* c'est-à-dire de plans suivant lesquels s'opère la séparation des cristaux en lames planes, sous le choc ou sous l'effort d'un outil tranchant. Le clivage se produit toujours suivant une face cristallographique possible, et généralement suivant les faces dont les indices sont les plus simples. Il se répète, dans les mêmes conditions, suivant toutes les faces semblables (clivage octaédrique, clivage cubique, clivage prismatique, etc.). La nature du clivage varie lorsque le cristal présente des minima de cohésion suivant des directions différentes au point de vue cristallographique.

On peut distinguer divers degrés dans le clivage ; il peut être plus ou moins parfait suivant les minéraux, ou, dans un cristal donné, suivant les faces. (Mica, Galène, Topaze, Fluorine). Le clivage est un des caractères les plus précieux pour la détermination des espèces minérales.

Indiquons quelques-unes des directions habituelles de clivage. D'ordinaire ils sont parallèles à des faces primaires : faces terminales (100, 010, 001); faces de prismes primaires (110, 101, 011), plus rarement suivant la pyramide primaire (111).

Il s'ensuit que dans le système cubique le clivage le plus fréquent sera celui parallèle aux faces du cube (Galène); il sera plus rare suivant le rhombododécaèdre (110), (Blende) ; plus rare encore suivant l'octaèdre (111), (Fluorine).

Le clivage le plus fréquent des cristaux du système hexagonal est celui suivant la base (0001), (Beryl), et suivant un prisme (1010) (Apatite, Néphéline), il est rare suivant la pyramide hexagonale, (Pyromorphite). Pour les minéraux rhomboédriques on a souvent un clivage suivant le rhomboèdre, quelquefois suivant la base, plus rarement suivant le prisme.

Dans le système tétragonal on aura souvent un clivage suivant la face terminale (001) (Uranite), ou encore suivant les faces terminales verticales (100) et (010), (Cassitérite).

Dans le système rhombique le clivage le plus fréquent est parallèle à l'une des trois faces terminales (Topaze). On a plus rarement des clivages suivant les trois faces terminales à la fois (Anhydrite). Un grand nombre de minéraux de ce système sont clivables suivant un prisme, (Bronzite). Le clivage s'opère rarement suivant une pyramide (111 pour le soufre).

Les cristaux monocliniques sont souvent clivables suivant le plan de symétrie (010) (Gypse, Orthose). Les clivages perpendiculaires à ce plan sont assez fréquents (Orthose).

Pour les minéraux du système triclinique, les plans de clivage peuvent être envisagés, comme étant parallèles aux faces terminales; quant aux Feldspaths tricliniques, on les rapproche de l'Orthose au point de vue du clivage : on aura donc comme plans de clivage facile (010) et (001); deux autres plans de clivage moins parfait sont envisagés comme parallèles aux faces d'un prisme qui répond au prisme vertical de l'Orthose.

Nous avons vu plus haut comment la pression peut déterminer le déplacement des molécules, et provoquer la formation de macles. Dans d'autres cas les mêmes actions font naître des faces planes, dites *faces de glissement* et dont la direction diffère de celle des plans de clivage. Lorque l'on comprime dans une presse des fragments de clivage de sel gemme, ils se fendillent suivant les faces (101).

Si à l'aide d'un burin on attaque certains cristaux par le choc ou par pression, on obtient des *figures de percussion* ou de *décollement*, dont l'allure est en rapport avec la symétrie du cristal.

Cassure. — Lorsque dans un cristal la cohésion ne varie pas d'une manière notable suivant diverses directions, ou lorsque la force agit dans une direction qui n'est pas celle du minimum de cohésion, la rupture du cristal détermine des surfaces de cassure qui peuvent être grenues conchoïdales, esquilleuses, écailleuses, planes, inégales, luisantes, terreuses, etc.

Dureté. — C'est la résistance qu'un minéral oppose à l'action d'un corps étranger qui tend à pénétrer sa surface. Si l'on compare les minéraux au point de vue de leur dureté, on constate non seulement qu'ils présentent entre eux des différences très-considérables, mais que la dureté d'un même minéral varie souvent avec la direction suivant laquelle on l'étudie; cependant cette propriété reste constante pour toutes les directions semblables dans les cristaux d'une même espèce minérale.

On peut comparer la dureté des minéraux à l'aide de l'*Echelle de Mohs* qui suit :

Talc	dureté	1	Feldspath	dureté	6
Gypse	»	2	Quartz	»	7
Calcite	»	3	Topaze	»	8
Fluorine	»	4	Corindon	»	9
Apatite	»	5	Diamant	»	10

On se sert de cette échelle de la manière suivante, les minéraux qui ne rayent pas l'un des types de l'échelle, et qui ne sont pas rayés par lui, sont de la même dureté que ce type. Si un minéral dont on veut déterminer la dureté, raye un des minéraux de l'échelle, et s'il est rayé par le minéral de l'échelle répondant à *un* degré de dureté plus élevé, sa dureté est comprise entre ces deux degrés de l'échelle. Par exemple, la Scapolite raye l'Apatite, mais est rayée par le Feldspath; la dureté de la Scapolite est donc 5 1/2.

On peut aussi déterminer la dureté, mais d'une manière moins précise, sans employer les minéraux de l'échelle; ainsi les minéraux du 1er et du 2e degré se rayent à l'ongle. La dureté d'une monnaie de cuivre est égale à 3; celle du verre à vitre est 5; les minéraux qui font feu au briquet sont plus durs que 6.

On doit recourir à des appareils spéciaux, les *scléromètres*, lorsqu'il s'agit d'obtenir une mesure exacte de la dureté; néanmoins l'échelle de Mohs suffit pour les besoins ordinaires.

Elasticité. — L'élasticité est la propriété que présentent certains corps de reprendre leur forme ou leur volume primitif, dès que la cause qui tend à les déformer cesse d'agir.

L'élasticité des cristaux d'une substance donnée varie suivant les directions. C'est ainsi que dans les cristaux de Calcite la plus grande élasticité est parallèle aux arêtes rhomboédriques, et l'élasticité minima est parallèle aux diagonales inclinées des faces du rhomboèdre. En déterminant l'élasticité du sel gemme perpendiculairement à la face du cube et à celle de l'octaèdre, on constate que l'élasticité suivant ces deux directions donne le rapport 1 : 0.762.

On a cherché à apprécier l'élasticité des cristaux d'après la hauteur du son que donnaient, en vibrant, des plaques taillées suivant des directions définies, ou encore d'après les figures que faisaient naître leurs vibrations dans la poussière préalablement répandue à la surface des lames. Suivant que des plaques de Quartz sont parallèles au rhomboèdre primaire $\{10\bar{1}1\}$ ou au rhomboèdre inverse $\{01\bar{1}1\}$, elles offrent des différences de ton capables de s'élever à plus d'une quinte.

Pour la détermination de l'élasticité on se sert ordinairement d'une tige du minéral à examiner; on l'appuie aux deux bouts sur le tranchant de deux couteaux, et l'on applique des poids au milieu de la tige. Le degré de courbure qu'éprouve alors la tige permet d'apprécier la grandeur du coëfficient d'élasticité.

Un petit nombre de minéraux seulement ont été étudiés au point de vue de l'élasticité, les observations démontrent que l'élasticité est toujours la même dans des directions qui sont semblables selon la symétrie du cristal.

Nous définissons, sans insister davantage, quelques propriétés des minéraux qui doivent se placer ici et qui servent à les caractériser dans les descriptions.

Quelques minéraux possèdent la propriété de se laisser plier sur eux-mêmes sans se briser, et conservent la figure qu'ils ont prise ainsi; ce sont les minéraux *flexibles*; ce phénomène s'observe pour la Chlorite, le Gypse, le Talc, etc. Quelques autres possèdent la propriété de se laisser plier sur eux-mêmes, mais de revenir à leur première forme lorsque la force qui leur avait été appliquée cesse d'agir, on dit alors qu'ils sont *flexibles et élastiques*, tels sont le Mica, l'Asbeste, etc.

Les minéraux *tenaces* sont ceux qui résistent à la déchirure ou à la cassure.

Il ne faut pas confondre la ténacité avec la dureté, car certains minéraux très-tendres, comme le Gypse par exemple, peuvent avoir une grande ténacité. Ces deux propriétés marchent souvent en sens contraire.

Les minéraux sont dits *ductiles* lorsqu'ils s'étendent sous le marteau sans se briser, ou lorsqu'ils se laissent couper en donnant des copeaux ou des filaments continus.

2. PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES CRISTAUX.

Réflexion. — Un rayon lumineux rencontrant une surface polie s'y réfléchit suivant les lois suivantes :

1° *Le rayon incident et le rayon réfléchi sont dans un même plan normal à la surface réfléchissante.*

2° *L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.*

Le *rayon incident* suit la direction rectiligne suivant laquelle la lumière tombe sur la surface polie; le *rayon réfléchi* suit celle suivant laquelle la lumière paraît renvoyée par cette surface; l'*angle d'incidence* est l'angle du rayon incident avec la normale à la surface au point d'incidence; l'*angle de réflexion* est l'angle que fait le rayon réfléchi avec cette normale.

Si la lumière tombe sur une surface imparfaitement polie, une portion est réfléchie régulièrement, une autre portion est renvoyée dans toutes les directions c'est ce qu'on appelle la *lumière diffuse*.

Éclat. — Les minéraux diffèrent beaucoup entre eux relativement à la manière dont la lumière se comporte à leur surface. Sous ce rapport il y a lieu de distinguer deux effets différents, l'*éclat* et la *couleur*. L'éclat tient à l'intensité des rayons réfléchis, à certaines modifications particulières de leur teinte qu'on ne saurait définir; il dépend de la structure du corps, du mode de texture et du plus ou moins de poli de sa surface. L'éclat peut être plus ou moins vif, plus ou moins terne, il disparait lorsque le corps est mat, lithoïde ou terreux.

On peut distinguer parmi les minéraux plusieurs sortes d'éclat.

a) L'éclat métallique, propre aux métaux natifs, sulfurés ou oxydés.

b) L'éclat métalloïde, fausse apparence métallique; il disparaît dès qu'on vient à rayer la substance.

c) L'éclat adamantin, intermédiaire entre l'éclat métallique et l'éclat vitreux. Cet éclat est propre aux corps très réfringents : Diamant, Zircon, Cérusite, dont les faces perdent leur aspect vitreux pour prendre une apparence métallique lorsqu'on les incline convenablement par rapport à l'œil.

d) L'éclat nacré, semblable à celui de la nacre de perle.

e) L'éclat soyeux, ressemble à celui des étoffes moirées, et résulte d'une structure à fibres droites, serrées et d'égale grosseur.

f) L'éclat gras, la surface paraît avoir été frottée d'huile.

g) L'éclat résineux, qui tient le milieu entre l'éclat gras et l'éclat vitreux (Opale).

h) L'éclat vitreux, analogue à celui du verre, se rencontre dans un grand nombre de cristaux dont le pouvoir réfringent est peu considérable.

Couleur. — Les couleurs offrent deux caractères principaux suivant qu'elles se présentent sur des corps opaques (*couleurs métalliques*) et sur des corps translucides ou transparents (*couleurs non métalliques*).

a) Couleurs métalliques : Rouge de cuivre, brun de tombac, jaune de bronze, jaune de laiton, jaune d'or, blanc d'argent, blanc d'étain, gris de plomb, gris d'acier.

b) Couleurs non métalliques : le blanc, le gris, le noir, le bleu, le vert, le jaune, le rouge, le brun avec toutes leurs nuances.

Les couleurs qu'on observe dans les minéraux sont de deux genres très différents : ils peuvent, en effet, être colorés par eux mêmes, on dit alors qu'ils ont une *couleur propre* (*minéraux idiochromatiques*), ou bien ils sont colorés accidentellement (*minéraux allochromatiques*) par le mélange de particules étrangères appartenant à des corps colorés eux-mêmes, et faisant fonction de matière colorante à l'égard des premiers. Les *couleurs accidentelles* pouvant varier à l'infini dans la même espèce, ne sauraient avoir l'importance des couleurs propres. Celles-ci fournissent des caractères spécifiques qui servent à la distinction des espèces minérales.

On étudie séparément dans les minéraux la couleur de la masse et celle de la poussière parceque cette dernière n'est pas toujours de même nature que la première, et parceque la couleur de la masse est toujours plus ou moins modifiée par l'intensité de l'éclat, ou par l'état d'agrégation du minéral. Pour déterminer la *couleur de la poussière* on racle le minéral avec la pointe d'un couteau, ou bien on frotte une des parties aiguës du minéral sur une plaque dure et blanche en porcelaine dégourdie et on observe la nuance de la raie ainsi produite ; on arrive au même résultat en observant la couleur de la poussière du minéral étalée sur une feuille de papier blanc.

Transparence. — Elle présente aussi différents dégrés pour les minéraux. Lorsqu'un minéral, même en lames épaisses, permet le passage de rayons lumineux, de manière à ce qu'on puisse observer nettement un objet au travers de l'épaisseur du corps, on dit qu'il est *transparent* (le Spath d'Islande par exemple). Un minéral est *translucide* lorsque la lumière le traverse partiellement, de manière à ne plus permettre de distinguer les objets (la Calcédoine). Si cette propriété ne se manifeste que sur les bords, le minéral est dit *translucide sur les bords* (le Silex). Enfin, un minéral est *opaque* lorsqu'il ne laisse passer aucun rayon lumineux (le Graphite).

Réfraction simple. — Lorsqu'un rayon lumineux arrive à la surface de séparation de deux milieux amorphes I et II, il se divise en trois parties : une première partie revient dans le premier milieu suivant la loi de la réflexion, une deuxième revient aussi dans le premier milieu, mais elle envoie des rayons dans tous les sens : elle est diffusée ou irrégulièrement réfléchie ; une troisième enfin pénètre dans le nouveau milieu et constitue la lumière réfractée. Si ce nouveau milieu est transparent on peut suivre la marche du rayon réfracté, et on observe alors que si la lumière incidente est oblique à la surface de séparation, le rayon continue sa route dans le second milieu suivant une direction différente de la première.

Désignons par i l'angle formé par le rayon incident et la normale à la surface de séparation, par r l'angle que fait le rayon réfracté avec cette même normale (voir fig. 288). nous aurons les deux lois suivantes :

1° *Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale se trouvent dans le même plan.*

2° *L'angle d'incidence et l'angle de refraction ont pour un même corps un rapport constant donné par la formule :* $\frac{\sin i}{\sin r} = n$.

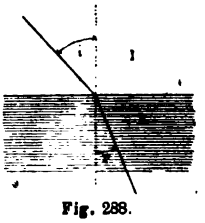


Fig. 288.

La constante n est appelée *indice de réfraction* du second milieu, le premier étant l'air atmosphérique.

D'après la théorie la déviation du rayon réfracté résulte du changement de vitesse de propagation des vibrations lumineuses.

Soient v_1 et v_2 respectivement les vitesses de la lumière dans le premier et dans le second milieu ; on a : $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$; si nous supposons que le premier milieu soit l'air, v_1 devient égal à 1, et nous avons : $n = \frac{1}{v_2}$, d'où résulte une loi générale : *les vitesses de la lumière sont en raison inverse des indices de réfraction.*

Il résulte, en effet, des expériences de Foucault que la vitesse de la lumière dans l'eau est égale aux trois quarts seulement de sa vitesse dans l'air, or, l'indice de réfraction pour le passage de la lumière de l'air dans l'eau étant égal à 4/3 environ, les résultats de la théorie se trouvent ainsi confirmés par l'expérience.

Détermination de l'indice de réfraction. — Il existe plusieurs méthodes pour déterminer les indices de réfraction des minéraux. Nous nous bornons à envisager celle du minimum de déviation.

Le corps dont on veut déterminer l'indice est taillé en prisme dont on mesure l'un des angles, a par exemple (fig. 289) ; on fixe ce prisme au milieu

d'un disque gradué V de façon à ce que son *arête réfringente* (*a*) soit perpendiculaire au plan du disque V, et on observe au moyen d'une lunette B l'image d'une mire L formée par le rayon réfracté LMNB. L'angle AHB est la déviation.

Si maintenant on imprime au prisme un mouvement de rotation, on remarque que pour continuer à apercevoir l'image de L on doit déplacer la lunette B et la rapprocher de A. On arrive ainsi à une position C (fig. 290) où l'image de L, d'abord un moment stationnaire, revient ensuite vers B quoique la rotation du prisme s'effectue toujours dans le même sens; à ce moment la déviation AHC est minima et elle nous permet de déterminer l'indice de réfraction n. En effet, comme dans ce cas, le rayon réfracté forme à l'intérieur du prisme des angles égaux avec les faces *ab* et *ac*. on a pour r la valeur $\frac{a}{2}$, car les angles KPN et a sont égaux comme ayant les côtés, deux à deux, perpendiculaires entre eux, et comme l'angle KPN est l'angle externe au triangle MPN, il s'ensuit que KPN $= 2r$, donc $r = \frac{a}{2}$.

D'autre part la déviation $d =$ AHC $=$ HMN $+$ HNM $= i\text{-}r + i\text{-}r = 2i - 2r = 2i - a$; d'où $2i = d + a$. ou $i = \frac{d+a}{2}$; on a donc la formule

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{d+a}{2}}{\sin \frac{a}{2}}$$

dont le second membre ne contient que des quantités connues.

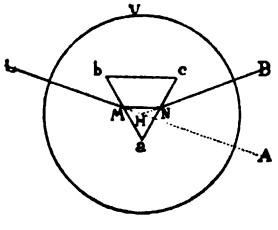


Fig. 289.

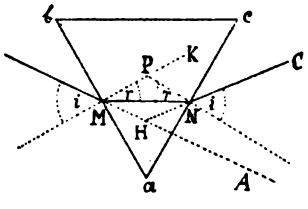


Fig. 290.

On appelle *spectromètres* les instruments à l'aide desquels on mesure les indices de réfraction. Le goniomètre à limbe horizontal (fig. 7) peut être avantageusement employé comme spectromètre; il suffit pour cela de serrer la vis α, et de desserrer la vis β : le limbe se trouve alors fixé au pied de l'instrument, tandis que la lunette peut se déplacer en tournant dans un plan horizontal autour de l'axe vertical.

Réflexion totale. — Si un rayon lumineux AO (fig. 291) passe d'un

milieu dans un autre moins réfringent suivant OA', on a $i < r$. Si un second rayon A^2O tombe sous un angle d'incidence plus grand A^2ON, il est refracté suivant $AO^{2'}$, l'angle de réfraction $N'OA^{2'}$ est devenu plus grand. Si l'angle d'incidence continue à augmenter, il en sera de même pour l'angle de réfraction, et pour une certaine incidence LON le rayon sera réfracté suivant OL' parallèlement à la surface DL' limitant les deux milieux. L'angle de réfraction est dans ce cas égal à $N'OL' = 90°$. Si l'angle d'incidence augmente encore et qu'un rayon incident suive la direction BO par exemple, il ne donne plus naissance à un rayon réfracté, mais en O il est réfléchi d'après la loi de la réflexion ordinaire, suivant OB' (NOB = NOB') : ce phénomène est désigné sous le nom de *réflexion totale*. L'angle d'incidence $NOL = i_0$ pour lequel l'angle de réfraction = 90°, est l'*angle limite*. Il est clair qu'il ne peut y avoir réflexion totale que dans le cas où un rayon lumineux passe d'un milieu plus réfringent dans un milieu moins réfringent.

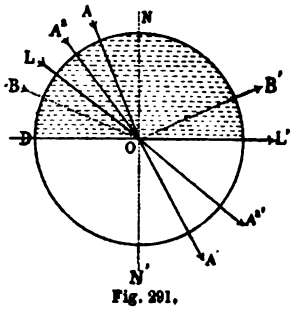


Fig. 291.

Soient n_1, v_1 respectivement l'indice de réfraction et la vitesse de propagation de la lumière dans le premier milieu et n_2, v_2 les mêmes valeurs pour le second milieu; on a $v_1 = \frac{1}{n_1}$; $v_2 = \frac{1}{n_2}$, et par conséquent : $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{1}{n_1}}{\frac{1}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$; lorsque r est egal à 90°, i devient i_0 et l'on a : $\frac{\sin i_0}{\sin 90°} = \frac{n_2}{n_1}$, ou $\sin i_0 = \frac{n_2}{n_1}$. Cette formule permet de trouver par le calcul l'une des trois valeurs i_0, n_1, n_2, lorsque les deux autres sont données; quand le second milieu est l'air on a : $\sin i_0 = \frac{1}{n_1}$ ou $n_1 = \frac{1}{\sin i_0}$. La formule $\sin i_0 = \frac{n_2}{n_1}$ sert souvent à la détermination de l'indice de réfraction n_2.

Double réfraction. — Signe optique. — Tandis que tous les corps amorphes et les cristaux du système cubique présentent un seul rayon réfracté correspondant à un rayon incident, les corps qui cristallisent dans les autres systèmes donnent, en général, un dédoublement du rayon.

Les milieux où l'on observe ainsi la *double réfraction* sont dits *anisotropes* ou *biréfringents*, par opposition aux premiers qu'on désigne sous le nom d'*isotropes* ou de *monoréfringents*.

Les rhomboèdres transparents de Calcite qu'on obtient par le clivage montrent parfaitement les phénomènes de la biréfringence.

Si nous appliquons un de ces rhomboèdres sur un papier percé d'une

ouverture pratiquée au moyen d'une aiguille, nous observons deux images de l'ouverture, dont l'une (*o*) reste fixe (fig. 292) pour une rotation du rhomboèdre autour du rayon incident, tandis que l'autre (*e*) suit le mouvement. Le faisceau incident se partage donc en deux rayons réfractés.

La double réfraction ne s'observe pas dans toutes les directions du rhomboèdre. En effet si nous taillons deux faces normales à l'axe principal (fig. 293) nous n'observons qu'une seule image au travers de cette plaque, si l'œil est placé sur la perpendiculaire aux deux faces taillées qui passe par l'ouverture; au contraire l'image paraît double dès que l'œil n'est plus situé sur cette normale.

La Calcite possède donc une direction (un *axe*) suivant laquelle la réfraction est simple, et cette direction est parallèle à l'axe cristallographique vertical; dans toute autre direction la réfraction est double.

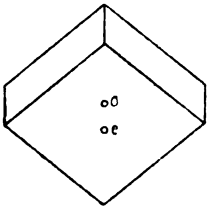


Fig. 292.

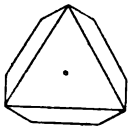


Fig. 293.

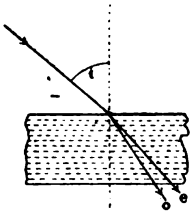


Fig. 294.

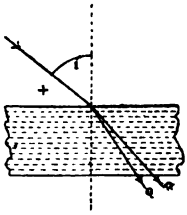


Fig. 295.

Tous les minéraux qui appartiennent aux systèmes quadratique et hexagonal se comportent comme la Calcite; tous dédoublent la lumière et possèdent une direction unique de réfraction simple, ils ont *un axe optique*, ils sont *uniaxes*.

Si dans un de ces cristaux optiquement uniaxes on détermine les indices de réfraction des rayons *o* et *e*, à l'aide de prismes convenablement orientés, on constate que l'indice du rayon *o* qui est désigné par n_ω, reste constant pour toutes les directions, tandis que celui du rayon *e* varie avec la direction; le rayon *o* obéit donc à la loi ordinaire de la réfraction, $n = \frac{\sin i}{\sin r}$; tandis que le rayon *e* ne suit plus cette loi, c'est pour cette raison que *o* est appelé *rayon ordinaire* et *e rayon extraordinaire*. De toutes les valeurs que l'indice de réfraction de *e* peut présenter, on choisit comme indice de réfraction extraordinaire proprement dit, celle que donne un prisme dont l'arête est parallèle à l'axe principal ou vertical du cristal; on désigne cette valeur par n_ε.

Parmi les cristaux à *un* axe il en est plusieurs qui possèdent un indice de réfraction ordinaire plus grand que l'extraordinaire ($n_\omega > n_\varepsilon$); pour d'autres cristaux la relation inverse a lieu ($n_\omega < n_\varepsilon$). Les premiers sont dits

négatifs ou *répulsifs*, le rayon ordinaire étant plus éloigné de la direction du rayon incident que le rayon extraordinaire (fig. 294); les seconds sont *positifs* ou *attractifs*, le rayon ordinaire étant, au contraire, plus rapproché de cette direction (fig. 295).

Les minéraux qui cristallisent dans les systèmes rhombique, monoclinique ou triclinique, présentent également le phénomène de la double réfraction, mais ils possèdent deux directions de réfraction simple, ils ont *deux axes optiques*, ils sont *biaxes*. Ces corps n'ont pas de rayon ordinaire; les deux rayons ayant des indices variables, sont donc deux rayons extraordinaires. Les indices de réfraction variant d'une manière continue, il doit y avoir naturellement un indice maximum et un indice minimum; on désigne le premier par n_γ, le second par n_α; et par γ et α les directions suivant lesquelles vibrent les rayons qui donnent ces indices. Ces directions sont situées dans le plan des axes optiques, et constituent les *bissectrices* des angles formés par ces axes entre eux; elles sont par conséquent perpendiculaires l'une à l'autre. Enfin on désigne par la lettre β la direction qui est normale au plan des bissectrices, et par n_β l'indice de réfraction d'un rayon vibrant suivant la direction β. Les directions α, β, γ ont reçu respectivement les noms d'*axe de la plus grande élasticité*, d'*axe de l'élasticité moyenne* et d'*axe de la plus petite élasticité*.

Par analogie avec les cristaux uniaxes, on distingue encore pour les cristaux biaxes des cristaux positifs et négatifs, suivant que γ ou que α est la *bissectrice aiguë*, c.-à-d. la bissectrice de l'angle aigu des axes optiques.

Dispersion. — Lorsqu'un rayon de lumière blanche traverse un prisme de verre, ce rayon est non seulement refracté, mais il subit, en outre, une séparation en rayons diversement colorés; il se forme ainsi sur un écran blanc un *spectre*, où les rayons rouges sont les moins déviés, les moins réfrangibles, tandis que les rayons violets subissent la plus forte déviation. Entre ces deux couleurs se placent dans l'ordre croissant de déviation, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu et l'indigo.

Si ces rayons ainsi dispersés sont ramenés, au moyen d'une lentille, en un seul faisceau, ils régénèrent la lumière blanche. Si une partie seulement de ces rayons est ramenée en un faisceau, celui-ci prend la *couleur complémentaire* de celle des couleurs du spectre qui n'entre pas dans sa composition. Ainsi par élimination du rouge on obtient le vert, par élimination du violet et du bleu on a le jaune, par élimination du vert on obtient le rouge. Les couleurs complémentaires sont donc celles qui forment du blanc par leur superposition. Toute couleur a sa couleur complémentaire, car n'étant pas blanche il lui manque quelques unes des couleurs du spectre pour former de la lumière blanche. Le mélange de ces dernières couleurs doit donc donner une couleur composée complémentaire de la première.

Rappelons que si le prisme est taillé dans un corps biréfringent il montrera

deux spectres distincts, correspondant aux deux rayons produits par la réfraction double.

Absorption. — La lumière blanche en traversant certains corps perd une partie des rayons qui la constituent, ceux qui passent offrent alors un faisceau de lumière colorée. Les différents milieux peuvent absorber ainsi certains rayons et en laisser passer d'autres. La lumière solaire qui a traversé un verre coloré par du cobalt donne un spectre où toutes les couleurs, sauf le rouge et le bleu sont affaiblies, et pour une épaisseur plus forte du verre, sont entièrement absorbées. Ce phénomène s'observe souvent aux minéraux qui absorbent une ou plusieurs couleurs et laissent passer une lumière composée du mélange des couleurs restantes.

Principe d'Huyghens. — Rayon lumineux. — Lumière naturelle et polarisée. — On admet que les molécules des corps lumineux sont animées d'un mouvement vibratoire infiniment rapide. Ces vibrations se transmettent aux molécules d'éther, milieu éminemment élastique, répandu partout dans la nature.

Les molécules d'éther qui reçoivent l'ébranlement le transmettent dans tous les sens et de la même manière pour les milieux optiquement homogènes, c'est-à-dire pour les milieux où l'ether possède en tous les points une même densité. Il en résulte que dans un pareil milieu les vibrations d'une molécule d'éther se trouvent transmises, au bout de l'unité de temps, à tous les points d'une sphère de rayon R par exemple (fig. 296) et dont la molécule considérée occupe le centre. Comme toute molécule d'éther en vibration peut être prise à son tour pour centre d'ébranlement, il s'en suit que les molécules de la sphère R envoient dans tous les sens des vibrations qui au bout de l'unité de temps se seront transmises à des surfaces sphériques dont elles occupent le centre, et dont l'ensemble est enveloppé par la sphère de rayon 2R qui a pour centre la molécule primitivement considérée. On peut donc envisager les vibrations comme partant de la molécule primitive sans tenir compte des autres molécules.

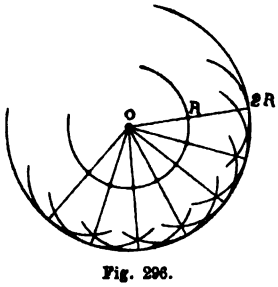


Fig. 296.

On appelle *rayon lumineux* la droite qui joint le centre d'ébranlemeut à un point quelconque de l'espace ; c'est aussi la direction que la lumière suit pour atteindre ce point. Un rayon lumineux se compose donc d'une file de molécules d'éther qui exécutent successivement autour de la position d'équilibre, des vibrations infiniment rapides, mais d'amplitudes excessivement petites. Ces vibrations sont *transversales*, c'est-à-dire perpendiculaires au rayon et s'exécutent ou bien également dans tous les sens autour de lui, ou

bien dans un seul plan seulement. Le premier cas est celui d'un rayon de *lumière naturelle*, tel qu'il nous parvient du soleil par exemple, le second celui d'un rayon *polarisé rectilignement*.

On conçoit que les propriétés des rayons lumineux varient suivant le mode de vibration des molécules constituantes. Ainsi, par exemple, un rayon de lumière naturelle donne lieu aux mêmes phénomènes de réflexion et de réfraction dans tous les plans autour de sa direction; si au contraire nous recevons un rayon de lumière polarisée sur un miroir formant avec lui un angle de 35°,25', il ne donne lieu à aucun rayon réfléchi lorsque le plan d'incidence, déterminé par la direction du rayon et la normale au miroir, coïncide avec le plan des vibrations. Si nous faisons tourner le miroir autour du rayon, la lumière est réfléchie et la partie réfléchie atteint son maximum d'intensité lorsque le plan d'incidence est perpendiculaire au plan des vibrations. Le plan normal aux vibrations lumineuses d'un rayon polarisé s'appelle *plan de polarisation*.

Tourmaline. — Nicol. — Pile de glace. — La lumière naturelle et la lumière polarisée peuvent dans certaines conditions se transformer l'une dans l'autre; ainsi un rayon de lumière naturelle peut donner lieu à un rayon polarisé et inversément, un rayon polarisé peut être ramené à un rayon naturel. Si, par exemple, un rayon de lumière naturelle traverse un cristal biréfringent il se produit en général deux rayons polarisés dont les plans de polarisation sont à angle droit, mais qui, lorsqu'ils cheminent suivant la même droite produisent le même effet qu'un rayon de lumière naturelle. Il faudra donc, pour obtenir de la lumière polarisée, supprimer un des deux rayons. On emploie, dans ce but, les procédés que nous allons indiquer :

Un premier moyen nous est fourni par une plaque de Tourmaline taillée parallèlement à l'axe vertical. Une telle plaque a la propriété de séparer le rayon de lumière naturelle en deux rayons polarisés à angle droit dont l'un, le rayon ordinaire *o*, est absorbé. Tous les rayons qui traversent la plaque sont donc polarisés dans le même sens, et exécutent leurs vibrations parallèlement à l'axe principal du cristal. Ce procédé présente l'inconvénient de donner une lumière colorée.

Un appareil généralement usité aujourd'hui est le *prisme de Nicol*. Il consiste en un prisme de clivage de spath d'Islande. Si toutes les faces latérales sont égales, ce qu'on réalise par la taille, le plan *mhm'h'* (fig. 297) sera un plan de symétrie du rhomboèdre, et contiendra l'axe principal et la normale à la face *rhom*. Le plan *mhm'h'* est la section principale du prisme de spath.

Dans le solide obtenu par le clivage la ligne *mh* forme un angle d'environ 71° avec l'arête *mh'* ; en polissant convenablement les deux faces *rhom* et *r'h'o'm'* on réduit cet angle à 68°, de sorte que la section principale *mhm'h'*

forme un parallélogramme dont les angles sont de 68° et de 112° (fig. 298); on sectionne ensuite le prisme suivant un plan perpendiculaire à la fois au plan *mhm'h'* et à la droite *mh*, on polit les deux faces de section, et on

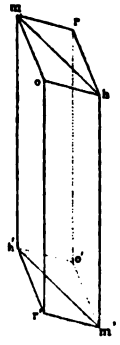


Fig. 297.

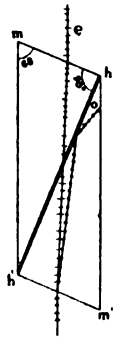


Fig. 298.

replace les deux parties du prisme dans leur position primitive en les collant à l'aide de baume du Canada. Le prisme ainsi obtenu ne laisse passer dans la direction des arêtes que les rayons dont les vibrations sont parallèles à la section principale *mhm'h'*. En effet, un rayon de lumière naturelle tombant sur la face *r'h'o'm'*, se dédoublera en deux rayons, dont l'un, le rayon ordinaire *o*, qui est le plus fortement dévié, rencontrera la couche de baume sous un angle plus grand que l'angle limite (page 117); il y subira la réflexion totale et ira s'éteindre dans la monture noire du Nicol, tandis que l'autre rayon, le rayon extraordinaire *e*, dont les vibrations s'opèrent dans le plan *mh m'h'*, passera librement (fig. 298).

On peut aussi obtenir de la lumière polarisée en recevant la lumière naturelle sur une *pile de glace*, c'est-à-dire sur une série de plaques de verre superposées, et en ne recueillant dans l'appareil, où l'on veut utiliser la lumière polarisée, que les rayons réfléchis formant avec la pile de glace un angle de 35°,25'.

L'appareil qui transforme la lumière ordinaire en lumière polarisée porte le nom de *polariseur*.

Superposition de deux Nicols. — Examinons ce qui se passe quand un rayon de lumière polarisée se présente pour traverser deux lames de Tourmaline ou deux Nicols superposés. Envisageons un rayon polarisé provenant d'une lame de Tourmaline I et arrivant à une Tourmaline II, et supposons que les axes principaux forment entre eux un angle quelconque φ (fig. 299). La plaque II ne laisse passer que des rayons qui vibrent parallèlement à son axe principal CD; par suite les rayons qui partent de I et qui vibrent suivant AB ne peuvent pas traverser II en continuant les oscillations suivant cette direction; mais ils doivent se décomposer. Si leur intensité primitive est repré-

sentée par la ligne EG, ses deux composantes seront EH et HG, dont l'une EH, égale à EG. cos φ, est dirigée suivant CD et traverse la lame de Tourmaline, tandis que l'autre, HG = EG. sin φ, normale à CD est absorbée. Il n'y a donc

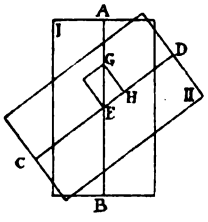


Fig. 299.

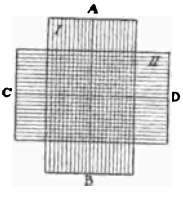


Fig. 300.

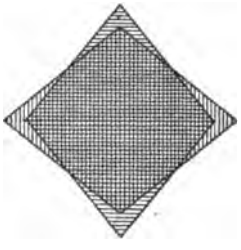


Fig. 301.

qu'une partie de la lumière émanée de I qui traverse la Tourmaline II. A mesure que l'angle φ diminue, la composante EH augmente, et lorsque les deux axes principaux AB, CD sont parallèles, la totalité de la lumière émanée de I traverse la plaque II. Au contraire lorsque l'angle φ se rapproche d'un droit, EH diminue et s'annule pour $\varphi = 90°$. Alors la plaque I recouverte par II est entièrement obscure (fig. 300). Dans ce dernier cas on dit que les Tourmalines sont *croisées*.

Le raisonnement qui précède s'applique au système de deux prismes de Nicol : lorsque les petites diagonales *mh* des faces en losange (fig. 298) sont parallèles, la totalité de la lumière provenant du premier Nicol traverse le second, si au contraire ces diagonales sont perpendiculaires entre elles la portion recouverte par le second Nicol est entièrement obscure (fig. 301). Nous avons donc le moyen de reconnaître si un rayon de lumière est polarisé, il suffit de le recevoir normalement sur une plaque de Tourmaline ou sur un prisme de Nicol auquel on imprime un mouvement de rotation autour de la direction du rayon. Si pour une certaine position de la Tourmaline ou du prisme de Nicol, la lumière ne passe plus, c'est que le rayon est polarisé et exécute ses vibrations perpendiculairement à l'axe principal de la Tourmaline ou à la petite diagonale du prisme de Nicol.

L'appareil qui sert à découvrir l'existence de la lumière polarisée porte le nom d'*Analyseur*.

Microscope polarisant à lumière parallèle. — Pour étudier les phénomènes que montrent les cristaux en lumière polarisée, on se sert d'un microscope spécial désigné souvent sous le nom de *microscope minéralogique*. Cet instrument est muni de deux prismes de Nicol; il a reçu en ces derniers temps de nombreux perfectionnements. Sans entrer dans le détail du mécanisme, donnons la description des parties essentielles de ce microscope (fig. 302).

La lumière réfléchie par le miroir M est polarisée par le Nicol P; elle traverse ensuite la préparation (lame mince transparente), l'objectif O du

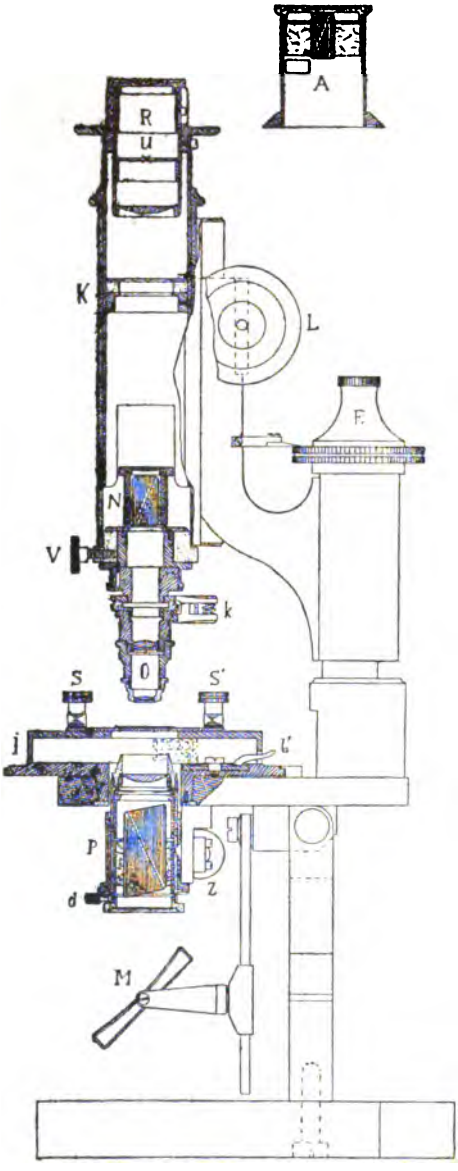


Fig. 302.

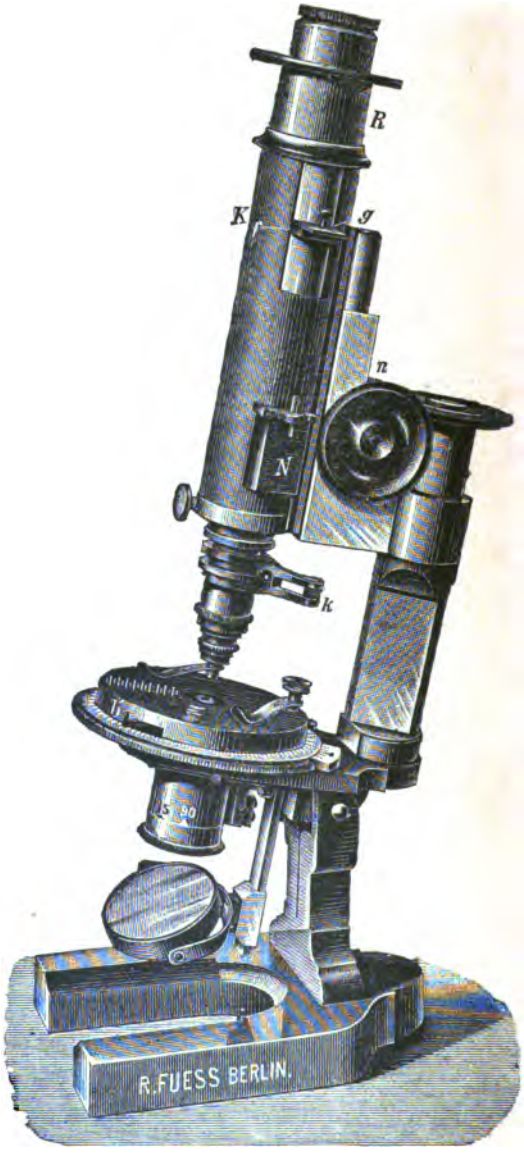


Fig. 303.

microscope, un second Nicol N servant d'analyseur et l'oculaire R qui porte un réticule U. La table I du microscope sur laquelle est posée la préparation,

peut tourner autour de l'axe de l'instrument, et elle entraîne la préparation dans sa rotation. Cette table est circulaire, elle porte une graduation sur le bord, et un point de repère fixe avec vernier permet d'évaluer en dégrés l'angle dont on fait tourner la préparation ou le cristal. La mise au point s'exécute à l'aide des deux viroles L et E; A est un nicol analyseur qui peut être superposé à l'oculaire. Deux vis V, dont une seulement est visible dans la figure, servent à ajuster l'objectif sur l'axe de la table rotative I. S et S' sont deux ressorts retenant la préparation sur la table. Z est une crémaillère à l'aide de laquelle on peut déplacer verticalement le polariseur P; *d* est un diaphragme iris. Les observations que permet cet appareil se font en *lumière parallèle;* cependant en introduisant des lentilles au-dessus du polariseur on peut obtenir la *lumière convergente*; ces lentilles sont mises en place à l'aide du petit crochet *b'*. La figure 303 donne l'aspect extérieur de ce microscope.

Détermination de la biréfringence. — On peut, à l'aide de ce microscope, déterminer si un corps est mono- ou biréfringent. On croise les Nicols et on interpose entre eux sur la table de l'instrument la lame taillée, le cristal ou le fragment du minéral qu'on veut soumettre à l'étude. Si ce minéral appartient au système cubique ou s'il est amorphe, le champ reste obscur pour une rotation complète de la préparation. S'il est biréfringent et qu'on le fasse tourner entre les nicols croisés, le champ s'éclairera et s'obscurcira alternativement, sauf dans le cas où le minéral serait taillé perpendiculaire-

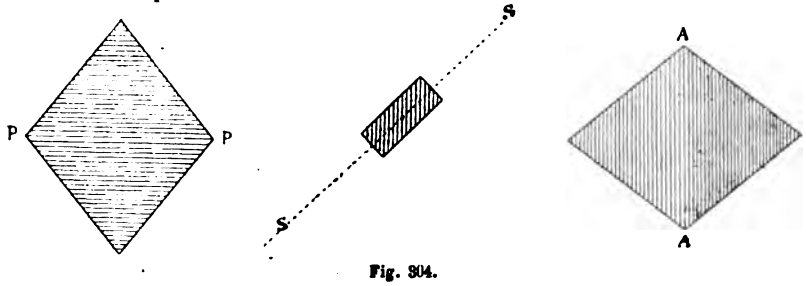


Fig. 304.

ment à un axe optique; alors il resterait obscur pour une rotation complète, car il n'y a pas de biréfraction suivant cette direction.

D'une manière générale, on peut dire que les préparations des minéraux biréfringents apparaîtront éclairées lorsque les plans suivant lesquels vibrent les deux rayons sont obliques aux petites diagonales des Nicols. Les figures suivantes montrent schématiquement ce qui se passe dans le cas dont il s'agit.

La figure 304 nous montre juxtaposés le polariseur P, la lamelle minérale biréfringente, et l'analyseur A. La figure 305 nous les montre superposés. Le rayon qui traverse le polariseur et qui vibre parallèlement à PP, est

décomposé en arrivant dans la lamelle biréfringente en deux rayons qui exécutent leurs vibrations perpendiculairement et parallèlement à SS. Ces deux rayons arrivent à l'analyseur, qui ne peut les laisser passer puisqu'ils ne sont pas parallèles à sa section principale : ils se décomposent donc tous deux en deux composantes (voir fig. 299). Parmi ces composantes il y en a deux qui sont parallèles à la section principale de l'analyseur, elles passeront tandis que les deux autres seront absorbées. La plaque apparaîtra donc éclairée.

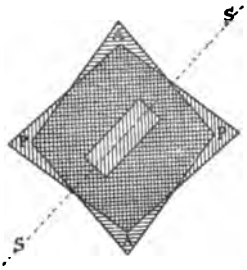


Fig. 305.

La préparation sera éteinte lorsqu'en faisant tourner la plaque dans son plan à l'aide de la table mobile, on aura amené les deux plans de vibration du minéral à être parallèles aux sections principales des Nicols. La lumière qui vient du polariseur et qui vibre parallèlement à PP trouve la préparation orientée de manière à lui permettre de la traverser simplement, et l'analyseur l'absorbe.

Dans le cas où il est difficile ou impossible de tailler une lame mince du minéral transparent qu'on veut étudier, on place le minéral en question dans un liquide présentant le même indice que le fragment à examiner. Ce liquide est enfermé dans un petit flacon de verre à fond plat qui se place sur la table du microscope.

Directions d'extinction. — Nous venons de voir qu'un minéral biréfringent s'éteint entre les Nicols croisés, si les plans des vibrations lumineuses coïncident avec les sections principales des Nicols. La direction qu'occupe le minéral au moment de l'extinction est appelée *direction d'extinction*. L'extinction peut être *droite* ou *oblique*, suivant que sa direction est *parallèle* ou *oblique* à certains éléments du cristal (faces, lignes de clivage).

D'après le théorème de Fresnel on obtient les directions d'extinction dans une plaque biaxe de la façon suivante : Soient *a* la direction de l'un des axes optiques, *b* celle de l'autre et *n* la direction de la normale à la plaque; *n* détermine avec *a* et *b* deux plans, les plans (*na*) et (*nb*) : les plans bissecteurs des angles formés par les plans (*na*) et (*nb*) couperont le plan de la plaque suivant deux directions qui sont perpendiculaires l'une à l'autre et coïncident avec les directions d'extinction de la plaque.

Dans une plaque uniaxe l'une des directions d'extinction est donnée par la trace du plan qui passe par l'axe optique et la normale à la plaque; l'autre direction d'extinction est normale à la première.

Pour les systèmes hexagonal et tétragonal toutes les faces de prismes présentent l'extinction droite (on dit aussi *extinction en long*). Les faces des pyramides hexagonales et tétragonales ont une extinction parallèle à l'arête horizontale. Les faces des rhomboèdres s'éteignent parallèlement aux diagonales.

Dans le système rhombique les extinctions sont droites pour les faces de prisme et les faces terminales. Dans le système monoclinique les faces termi-

nales de base et de front, ainsi que les faces de prisme de front ont des extinctions droites, tandis que la face terminale de profil, les faces de prisme verticales et de profil, et les faces de pyramide s'éteignent obliquement. Dans le système triclinique aucune des faces n'a d'extinction droite.

Pour les cristaux monocliniques et tricliniques les directions d'extinction varient un peu avec les couleurs. Il faut donc, lorsqu'il s'agit d'observations très précises, déterminer les extinctions pour chacune des couleurs.

Interférence. — Nous avons dit qu'un rayon lumineux se compose d'une suite de molécules d'éther qui vibrent normalement à sa direction. Soit pour plus de simplicité un rayon de lumière monochromatique polarisée, et envisageons à un moment donné la position des molécules d'une de ses

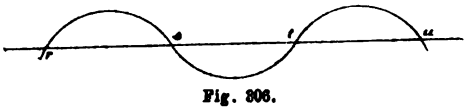


Fig. 306.

parties. Nous remarquons que dans la portion *rs* par exemple (fig. 306) les molécules se trouvent au-dessus de la droite *r s t u* qui indique la direction de propagation du rayon, tandis que de *s* à *t* elles se trouvent au-dessous. La distance *r t* s'appelle *longueur d'onde* (λ); elle varie avec la couleur de la lumière.

Si deux rayons de même couleur, et par suite de même longueur d'onde, se propagent suivant la même direction, le mouvement vibratoire résultant est la somme algébrique des deux mouvements composants; il résulte de là une augmentation d'intensité de la lumière, si les deux mouvements impriment aux molécules des vibrations de même sens. L'intensité de la

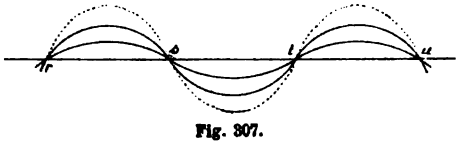


Fig. 307.

lumière diminue lorsque les vibrations sont de sens contraire. Dans les figures 307 et 308 qui représentent ces cas, la ligne pointillée donne le mode de vibration du rayon résultant.

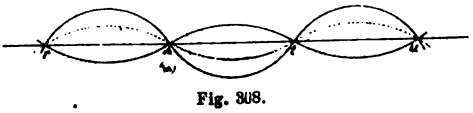


Fig. 308.

Un cas très-important est celui où les deux mouvements impriment aux molécules des vibrations égales et de sens contraire. Sollicitées à la fois dans deux sens opposés et avec la même intensité, les molécules d'éther restent au repos. Par leur concours les deux rayons lumineux produisent l'obscu-

rité. La figure 309 montre que dans ce cas l'un des deux rayons a sur l'autre un retard d'une demi-longueur d'onde. Le phénomène se produit encore

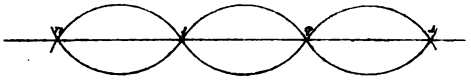


Fig. 309.

lorsque le retard comprend un nombre impair de demi-longueurs d'onde.

Les phénomènes qui résultent de la superposition de deux ou plusieurs mouvements lumineux sont désignés sous le nom d'*interférence*.

L'état vibratoire d'une particule d'éther est appelé sa *phase;* deux particules ébranlées par la même vibration et distantes d'un nombre pair quelconque de demi-longueurs d'onde ont *même phase* ou leur *différence de phase* est zéro; au contraire deux particules distantes d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde se trouvent en *phases opposées*. De même deux vibrations de même couleur se propageant dans la même direction ont même phase si le retard de l'une par rapport à l'autre est égal à un nombre pair de demi-longueurs d'onde; elles se trouvent, au contraire, dans des phases opposées, si ce retard est égal à un nombre impair de demi-longueurs d'onde. Dans le cas de l'interférence de deux vibrations de même phase, la vibration résultante aura la même phase que les deux vibrations interférentes (fig. 307); elle aura celle de la vibration la plus forte, lorsque les deux vibrations sont en phase opposée (fig. 308). Si la différence de phase n'est ni $2n\frac{\lambda}{2}$, ni $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$, où n est un nombre entier, la phase de la vibration résultante est différente de celles des deux vibrations interférentes.

Couleurs de polarisation. — Si au lieu d'envisager la lumière monochromatique on considère des rayons de longueur d'onde différente parcourant la même direction *rstu*, la couleur dont les rayons sont en retard les uns sur les autres d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde, disparaît, et la teinte résultante est un mélange des couleurs conservées.

Ce phénomène s'observe souvent dans l'examen des plaques minces des corps biréfringents. En effet, considérons une telle plaque d'épaisseur uniforme, et soit un faisceau de rayons parallèles, qui partis d'un polariseur, se présentent à l'entrée de la plaque (fig. 310). Le rayon AB se subdivise en deux autres BCD, BC'D'; de même le rayon A'B' donne naissance aux rayons réfractés B'C'D', B'C''D''. Suivant la direction C'D' deux rayons se propagent avec une différence de chemin donnée par B'C' — BC'. En quittant la plaque ces deux rayons ont leurs vibrations perpendiculaires entre elles et par suite ne peuvent interférer, mais par son passage dans le Nicol analyseur chaque rayon est décomposé en deux autres, et les deux composantes

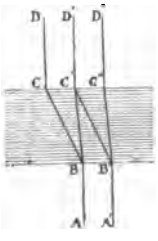


Fig. 310.

dont les vibrations se font dans le plan de la section principale de l'analyseur, passent seules.

Les molécules sont ainsi amenées à vibrer toutes dans un même plan, et si la différence B'C' — BC' est telle que l'une des deux composantes qui passent, a sur l'autre un retard égal à un nombre impair de demi-longueurs d'onde, les deux rayons envisagés se détruisent : ils sont éliminés et la plaque présente une teinte formée de toutes les couleurs conservées. Cette teinte est uniforme si la plaque possède partout la même épaisseur, elle est variable si l'épaisseur diffère d'un point à un autre, car dans ce cas la couleur éliminée varie avec la différence de chemin B'C' — BC' qui est elle-même variable suivant le point de la plaque qu'on considère.

Le retard est provoqué non seulement par la différence de chemin à laquelle nous venons de faire allusion, mais aussi parceque l'un des deux rayons envisagés traverse le cristal en se rapprochant plus que l'autre d'un axe d'élasticité maximum, moyen ou minimum. De même, la valeur relative des indices de réfraction du minéral a sa part d'influence quant au retard. La couleur d'interférence qu'offre une plaque cristalline entre les nicols croisés dépend donc : 1° de l'épaisseur de la plaque, 2° de la direction suivant laquelle elle a été taillée, et enfin 3° des indices de réfraction du cristal.

Bornons-nous à noter que la biréfringence plus ou moins énergique, c'est-à-dire la différence qui existe entre les indices des rayons, se traduit dans les teintes de la polarisation chromatique. Pour les minéraux faiblement biréfringents les couleurs sont d'ordre peu élevé; lorsque la biréfringence est forte les couleurs sont d'ordre plus élevé.

On rapporte ces couleurs à celles des *anneaux de Newton* qu'on produit lorsqu'on applique une lentille convexe sur une plaque unie de verre. Autour du point de contact il y a une couche d'air dont l'épaisseur augmente graduellement à mesure qu'on s'écarte de ce point. On obtient ainsi à la lumière réfléchie, à partir du point de contact qui apparaît en noir, la série suivante de couleurs :

1er ordre : Noir, gris bleuâtre, blanc, jaune-paille, jaune brunâtre, orangé, rouge.

2d ordre : Pourpre, violet, indigo, bleu de ciel, vert-clair, orangé, rouge.

3e ordre : Pourpre, violet, indigo, bleu, vert de mer, vert, vert jaunâtre, jaune isabelle, rouge-chair pâle.

4e ordre : Cramoisi, vert bleuâtre, vert, vert gris, rouge-chair pâle.

5e ordre : Vert pâle, blanc, rouge pâle.

Les anneaux suivants ont des couleurs pâles, vert bleuâtre ou rouge-chair, et ces couleurs vont toujours s'affaiblissant. Une couche d'air en forme de coin ne donne pas d'anneaux, mais des stries colorées présentant la succession des couleurs susdites.

Élasticité suivant les directions d'extinction. — Considérons une lame

quelconque d'un cristal biréfringent et supposons que les deux directions d'extinction aient été déterminées; ces directions sont perpendiculaires et identiques aux directions de vibration des deux rayons en lesquels un rayon normalement incident à la lame, se dédouble en vertu de la double réfraction. Il est souvent important de déterminer suivant laquelle des deux directions d'extinction vibre le rayon qui se propage le plus vite, ou, ce qui revient au même, quelle est la direction de la plus grande élasticité.

On peut résoudre ce problème, tout au moins pour les lames faiblement réfringentes, à l'aide d'une plaque de Gypse qui donne le rouge de 1r ordre comme couleur d'interférence entre les nicols croisés; cette plaque s'obtient facilement par le clivage qui est très parfait suivant (010) dans le Gypse. On commence par déterminer dans la lamelle de Gypse la direction de l'axe d'élasticité minimum; les lames de Gypse que livrent les opticiens portent généralement une flèche qui indique la direction de l'axe dont il s'agit. On fait tourner la table rotative du microscope jusqu'à ce que les directions d'extinction de la lame soient à 45° des sections principales des nicols. On superpose ensuite la lame de Gypse à la lame que l'on veut examiner et on lui donne une orientation telle que les directions d'extinction des deux lames coïncident; si alors la flèche tracée sur la lame de Gypse coïncide avec la direction de la plus petite élasticité de la lame étudiée, la lamelle de Gypse se comporte comme si elle augmentait d'épaisseur : le rouge se transforme et passe à une teinte d'ordre supérieur (violet ou bleu du 2d ordre); la couleur *monte*. Si au contraire c'est l'axe de la plus grande élasticité qui coïncide avec celui de la plus petite élasticité du Gypse, c'est comme si l'épaisseur de la lamelle de ce minéral diminuait : au rouge se substitue une teinte qui répond à une plus faible épaisseur (orangé ou jaune du 1r ordre); la couleur de la lamelle *descend*.

Donc, si la couleur descend, la flèche tracée sur le Gypse est parallèle à l'axe de la plus grande élasticité de la plaque à examiner; si la couleur monte, cette flèche est parallèle à l'axe de la plus petite élasticité, et la direction qui est perpendiculaire à ce dernier axe correspond à l'axe de la plus grande élasticité.

Quand la lame que l'on étudie est assez épaisse ou qu'elle est très fortement biréfringente, on se sert avec avantage d'un coin de Quartz. Le coin de Quartz est une lame taillée en biseau; le plus long côté de ce coin très allongé est parallèle à l'axe optique du cristal et répond à la direction de la plus petite élasticité, puisque le Quartz est optiquement positif.

On opère de la manière suivante : après avoir fait tourner la platine rotative du microscope jusqu'à ce que les directions d'extinction de la lame à examiner soient à 45° des sections principales des nicols, on superpose à la lame le coin de Quartz orienté de façon à ce que son axe optique coïncide avec l'une des directions d'extinction de la lame. Si cette direction correspond à l'axe de la plus grande élasticité, on observe en avançant peu-à-peu le biseau de Quartz qu'à un moment donné la teinte chromatique de la lame est compensée par la teinte du biseau : la lame se colore en gris ou en noir; si, au contraire, l'axe du biseau est en coïncidence avec l'axe de la plus petite élasticité de la lame, la teinte monte continuellement, la compensation ne s'opère pas; on en tire la règle pratique suivante : pour chercher la compensation de la teinte de la lame on fait coïncider l'axe optique du biseau successivement avec chacune des deux directions d'extinction; dans la position de compensation l'axe optique du biseau indique l'axe de la plus grande élasticité.

Figures d'interférence en lumière convergente. — Dans ce qui vient d'être dit nous avons envisagé les phénomènes d'interférence tels qu'ils nous

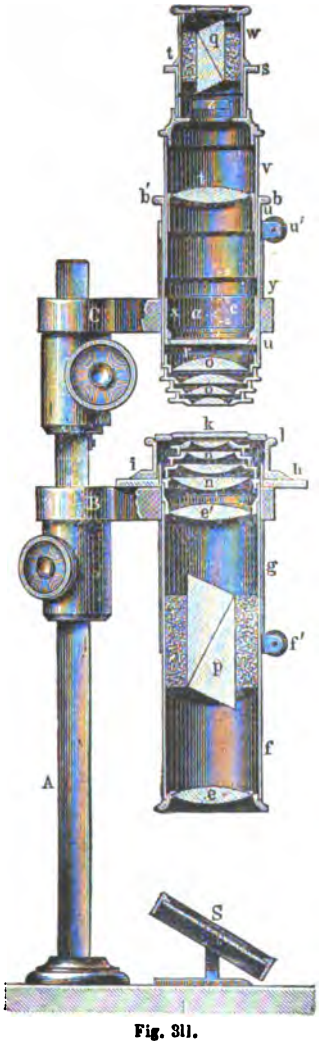


Fig. 311.

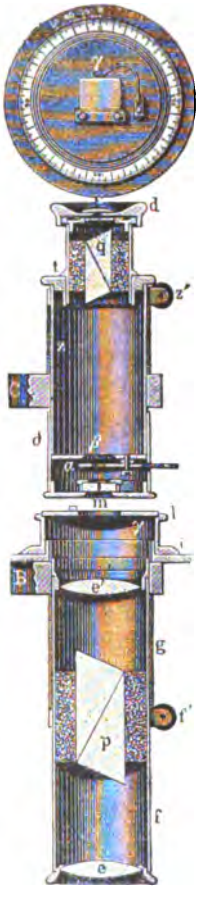


Fig. 312.

sont montrés lorsqu'on examine les cristaux biréfringents en *lumière polarisée parallèle;* si on les étudie en *lumière convergente* ils nous montrent d'autres phénomènes caractéristiques qu'on désigne sous le nom de *Figures d'interférence.*

On emploie pour ces observations un appareil *(appareil de polarisation à lumière convergente)* dont nous décrirons les parties essentielles (fig. 311.) La lumière réfléchie par le miroir S pénètre dans le polariseur *p*. Un premier système de lentilles hémisphériques *nn* rend les rayons convergents; ils traversent la plaque cristalline qu'on veut étudier, un second système de lentilles hémisphériques *oo*, et enfin l'analyseur *q*. La platine *l* qui supporte la préparation est graduée sur le bord *h* et peut tourner horizontalement.

Cet instrument peut se transformer aisément en *Stauroscope* (fig. 312) qu'on emploie pour la détermination exacte des directions d'extinction (voir page 126).

a) *Cristaux uniaxes.* — Entre les Nicols croisés, en lumière monochromatique, un *cristal uniaxe* taillé perpendiculairement à l'axe optique, donne une image qui se compose d'une série d'anneaux circulaires alternativement clairs et obscurs, et de plus en plus serrés à mesure qu'on s'éloigne du centre. Ces anneaux sont traversés par une croix noire, dont les branches sont parallèles aux deux sections principales des Nicols (fig. 313).

Entre les Nicols parallèles on observe une croix blanche traversant un système d'anneaux clairs d'intensité constante, et d'anneaux obscurs dont l'intensité augmente depuis les branches de la croix jusqu'à 45° (fig. 314).

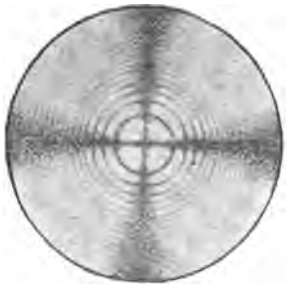


Fig. 313.

Fig. 314.

Avec la lumière blanche, l'extinction des diverses radiations ne se faisant pas à la même place, les extinctions annulaires s'échelonnent, et ainsi à la place des anneaux noirs on obtient des cercles également colorés ou *isochromatiques*.

Chaque bande uniformément colorée nous représente le mélange de toutes les radiations qui ne sont pas éteintes à la place considérée.

Les cercles isochromatiques sont d'autant plus serrés que la substance est plus fortement biréfringente, et aussi, que la lame est plus épaisse. A partir d'une certaine épaisseur ces extinctions se superposeraient si bien qu'on aurait simplement une lumière blanche affaiblie, le *blanc d'ordre supérieur*.

b) *Cristaux biaxes.* — Une plaque d'un *minéral biaxe* taillée normalement à l'un des axes optiques, montre une figure d'interférence présentant de

l'analogie avec celle des cristaux uniaxes; mais les anneaux isochromatiques sont remplacés par des courbes ressemblant à des ellipses, et au lieu de la croix noire on a une seule barre (fig. 315). Si la lame est taillée perpendicu-

Fig. 315.

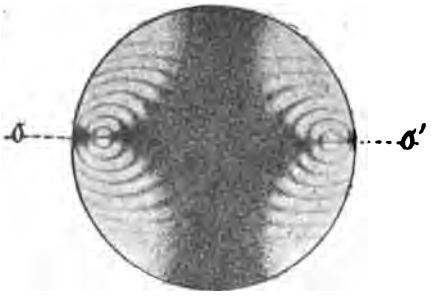


Fig. 316.

lairement à la *bisectrice aiguë* c'est-à-dire à la droite qui divise en deux parties égales l'angle aigu des axes optiques, et si cet angle n'est pas trop grand l'œil peut recevoir en même temps des rayons ayant cheminé suivant la direction des deux axes; alors, en lumière simple, ces rayons sont marqués par des points noirs, devenant les centres (fig. 316) de deux systèmes d'anneaux non circulaires qui tendent à se souder sous la forme de courbes en 8 ressemblant à des *Lemniscates*. La droite OO' reliant les points noires qui correspondent aux axes optiques est la trace du plan des axes optiques sur le plan de la lame.

Si, les Nicols étant croisés, le plan des deux axes optiques coïncide avec l'une de leurs sections principales ou occupe ce qu'on appelle la *position normale*, l'image est traversée par une croix noire dont la branche perpendiculaire au plan des axes est très dilatée (fig. 316).

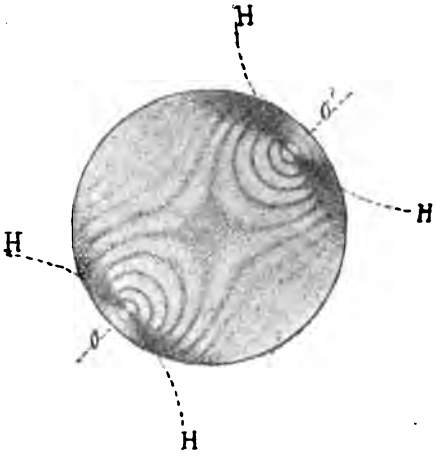


Fig. 317.

Si le plan des axes est à 45° des sections principales, les deux systèmes d'anneaux sont traversés par des hyperboles noires (H) (fig. 317) symétriques qui passent en s'amincissant par les traces des axes.

En lumière blanche, les anneaux noirs se transforment en anneaux colorés qui ne sont plus isochromatiques, et les hyperboles prennent aussi une

coloration mais moins marquée. Nous envisagerons ces phénomènes dans le paragraphe suivant.

Dispersion des axes. — Si l'on observe la figure d'axes d'un cristal à deux axes optiques, on y remarque souvent des irisations qui rappellent la disposition des couleurs que l'on voit dans la dispersion prismatique. Ce phénomène, désigné sous le nom de *dispersion des axes*, s'observe avec le plus de netteté au bord des hyperboles sombres et des premiers anneaux colorés. Prenons comme exemple une section perpendiculaire à la bissectrice aiguë d'un minéral rhombique, de l'Aragonite par exemple; nous observons qu'à l'intérieur, les premiers anneaux sont colorés en rouge vers l'intérieur de la figure d'axes, et en bleu vers l'extérieur (ρ = rouge; v = violet bleu). La figure 318(1) montre la figure d'axes dans la position normale avec la disposition que nous venons d'indiquer. La figure 319 présente la figure d'interférence de la même plaque tournée de façon à ce que le plan des axes optiques soit à 45° des sections principales des nicols. Nous voyons ici que le bleu borde les bords convexes des deux hyperboles, tandis que le rouge est au bord concave. Les bords intérieurs des deux anneaux sont bordés de rouge vers le centre de la figure.

Pour bien comprendre la cause de ce déplacement des couleurs, il faut d'abord se rappeler que le phénomène ne se présente que pour la lumière blanche. Si l'on se sert d'une lumière monochromatique, par exemple de la lumière rouge, on observe des hyperboles noires et des anneaux alternativement noirs et rouges. Si l'on opère à la lumière bleue on obtient encore des hyperboles noires et des anneaux alternativement noirs et bleus, mais ces figures n'occupent plus absolument la même position que pour la lumière rouge (voir figure 320, l'hyperbole et le premier anneau noir y sont indiqués en traits pleins pour le bleu, en pointillé pour le rouge). Les points d'émergence des axes optiques pour le bleu et le rouge n'occupent donc plus la même place dans le champ de vision.

A la lumière du jour le rouge n'existe pas aux points indiqués par le pointillé, les autres couleurs s'y trouvent et donnent la couleur bleue complémentaire; aux points où l'on voit les traits pleins le bleu n'existe pas, les autres couleurs s'y trouvent et donnent le rouge complémentaire. En d'autres termes, à la lumière du jour le rouge n'existe pas le long des hyperboles et anneaux noirs correspondant à cette couleur, tandis que les autres couleurs subsistent et donnent par leur ensemble une couleur complémentaire bleue,

(1) Dans les figures relatives à la dispersion des axes, on a représenté le bleu par des hachures croisées et le rouge par des hachures simples; les sections principales des nicols sont indiquées par P (polariseur) et A (analyseur).

et vice-versa : là où se trouvent les courbes noires correspondant au bleu, la couleur bleue a disparu et est remplacée par une couleur rouge complémentaire. Là où le rouge apparaît se trouvent donc l'hyperbole et l'anneau pour le

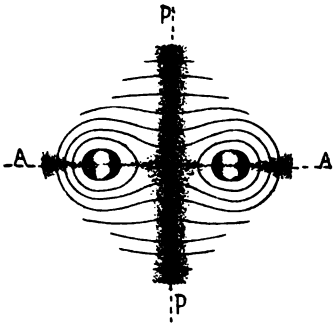


Fig. 318.

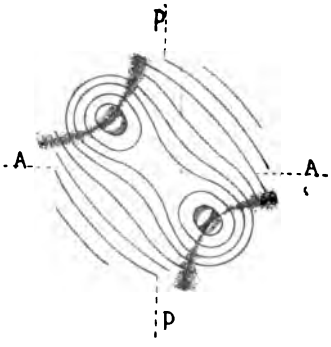


Fig. 319.

bleu; à l'endroit où se montre le bleu se trouvent l'hyperbole et l'anneau pour le rouge. La partie de l'hyperbole présentant à la lumière du jour la teinte neutre est celle où toutes les couleurs sont éteintes.

Chaque couleur a donc son système d'anneaux et d'hyperboles particulier, c'est-à-dire une figure d'axes qui lui est propre, de sorte qu'en général l'angle des axes optiques ne sera pas le même pour toutes les couleurs. Dans l'exemple fourni par les figures 318, 319 et 320 l'angle des axes optiques est plus petit pour le rouge que pour le violet, ce que l'on exprime par le symbole $\rho < v$. Ceci se reconnait à ce que les hyperboles (fig. 319) sont bordées de rouge à l'extérieur et de bleu à l'intérieur. Si c'est au contraire du bleu qui borde extérieurement les hyperboles, on doit en conclure que l'angle des axes optiques est plus grand pour le rouge que pour le bleu, c'est-à-dire $\rho > v$.

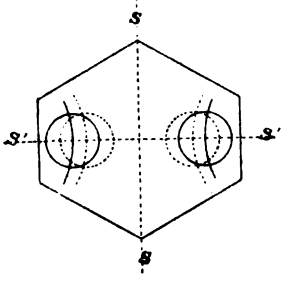


Fig. 320.

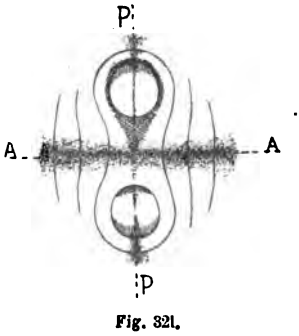


Fig. 321.

La disposition des couleurs dans l'ensemble de la figure présente une symétrie en rapport avec celle de la plaque sur laquelle le phénomène s'observe; cette plaque étant perpendiculaire à la bissectrice aiguë, sa symétrie dépendra

de la position de cette bissectrice par rapport aux plans de symétrie du cristal considéré. Or, nous avons vu page 119 que la bissectrice aiguë coïncide toujours soit avec la direction α, soit avec la direction γ; donc pour savoir quelle peut être la symétrie de la lame dont nous observons la figure d'axes, ou, ce qui revient au même, la symétrie de la figure d'axes d'un cristal donné, nous avons à rechercher quelle peut être la position des directions α et γ par rapport aux plans de symétrie de ce cristal.

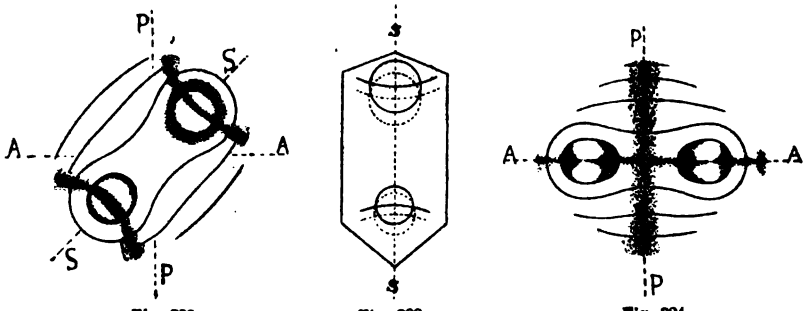


Fig. 322. Fig. 323. Fig. 324.

A. *Système rhombique.* Les axes α, β, γ, coïncident pour toutes les couleurs avec les axes cristallographiques. La lame considérée est donc perpendiculaire à un axe cristallographique, et par conséquent perpendiculaire à deux plans de symétrie; cette lame ainsi que la figure d'axes qu'elle présente sont symétriques par rapport à deux directions SS et S'S' (fig. 320). *Dispersion rhombique* (fig. 318 et 319, Lame d'Aragonite parallèle à (001)).

B. *Système monoclinique.* L'un des axes α, β, γ coïncide pour toutes les couleurs avec l'axe cristallographique *b* (perpendiculaire au plan de symétrie), les deux autres sont situés dans le plan de symétrie. Le plan des axes optiques, qui est toujours celui des axes α et γ, doit par conséquent coïncider avec le plan de symétrie ou lui être perpendiculaire. Examinons successivement ces deux cas :

I. *Plan des axes optiques coïncidant avec le plan de symétrie.* — La lame cristalline en expérience est perpendiculaire au plan de symétrie, elle est monosymétrique et, partant, la figure d'axes n'a qu'une seule droite de symétrie (SS) passant par les traces des axes optiques; c'est la *Dispersion inclinée* (fig. 321, 322, lame de Gypse). On voit que les bissectrices (voir fig. 323) ne sont pas absolument les mêmes pour le rouge et pour le bleu; on a donc ici, en dehors de la dispersion des axes optiques, la *dispersion des bissectrices.*

II. *Plan des axes optiques perpendiculaire au plan de symétrie.* — Nous avons ici à distinguer deux cas : 1° La bissectrice aiguë est située dans le plan de symétrie; dans ce cas la lame ainsi que la figure d'axes sont encore mono-

symétriques, mais la droite de symétrie SS est normale à la droite qui joint les axes optiques : *Dispersion horizontale* (fig. 324, 325, lame d'Adulaire). La fig. 326 montre qu'il y a dispersion des bissectrices aiguës. 2° La bissectrice

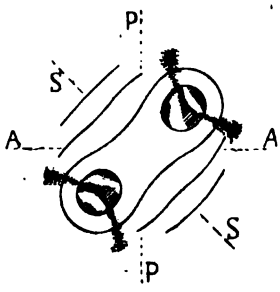


Fig. 325.

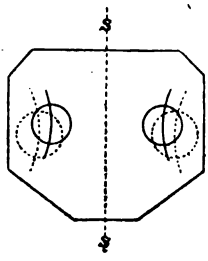


Fig. 326.

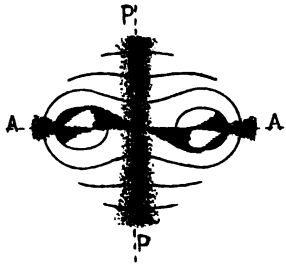


Fig. 327.

aiguë coïncide avec l'axe cristallographique *b* : la lame qui montre la figure d'axes est parallèle au plan de symétrie. Les droites qui joignent le rouge et le

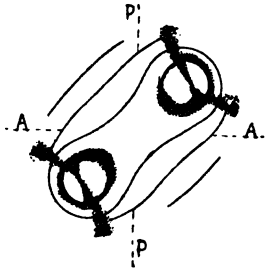


Fig. 328.

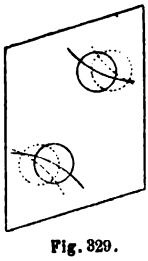


Fig. 329.

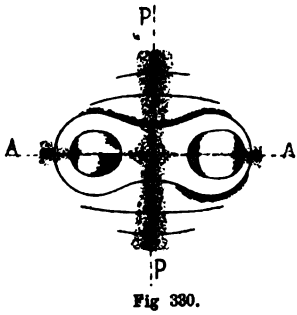


Fig 330.

bleu de l'un des axes avec le rouge et le bleu de l'autre axe se croisent au centre de la figure : *Dispersion croisée* (fig. 327, 328, lame de Borax

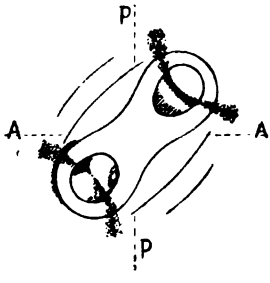


Fig. 331.

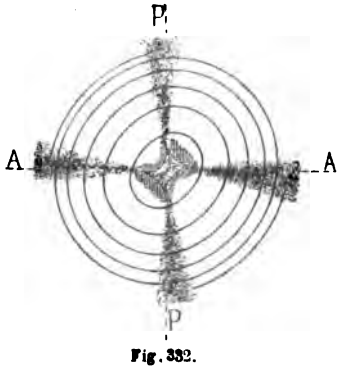


Fig. 332.

taillée parallèlement à (010)). La bissetrice aiguë est la même pour toutes les couleurs (fig. 329).

C. *Système triclinique.* — *Dispersion asymétrique* (fig. 330, 331, lame d'Oligoclase).

Une dispersion particulière a lieu dans le cas où le plan des axes optiques pour le rouge est perpendiculaire à celui pour le bleu. La figure 332 représente la figure d'axes de la Glaubérite : on voit que les plans des axes optiques pour le rouge et le bleu sont à angle droit; le phénomène est encore plus prononcé pour la Brookite à cause de la grande ouverture de l'angle des axes optiques.

Interprétation des figures d'axes partiellement visibles. — Il arrive souvent que par l'obliquité de la taille, la lame qui doit montrer la figure

Fig. 333.

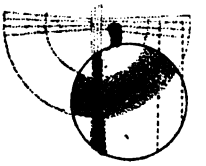


Fig. 334.

Fig. 335.

d'interférence ne la présente que d'une manière incomplète; les axes optiques étant tout-à-fait ou partiellement hors du champ.

Les exemples suivants peuvent servir à montrer comment on doit interpréter ces figures qui n'apparaissent que partiellement dans le champ de l'appareil. Le cercle noir fermé représente le champ de vision du microscope.

a) *Cristaux à un axe.* — Si l'axe optique est dans le champ, il est facile de reconnaître quelle partie de la figure d'axes se montre. Dans le cas représenté par la figure 333 la figure d'interférence est dans une position telle qu'une droite passant par l'axe optique et le centre du champ serait à 45° des sections principales des Nicols croisés. Dans ce cas les deux bras de la croix et une partie de l'anneau coloré sont visibles.

Notons que lorsque les sections sont très minces les bras de la croix sont moins bien définis et que les anneaux sont tellement grands qu'ils ne se montrent pas dans le champ.

La figure 334 représente un cas où l'axe optique est encore plus écarté du champ qu'il ne l'était dans l'exemple précédent. Les bras de la croix s'intersectent en un point situé hors du champ, une seule bande noire traverse verticalement le champ à gauche; en faisant tourner la table du microscope polarisant de manière à ce que l'axe optique s'avance dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, on verra la barre noire marcher de gauche à droite en restant toujours verticale, jusqu'au moment où elle disparaît du champ. Si la rotation se poursuit dans le même sens, un second bras de la croix apparaît dans le champ, mais il est horizontal (figure 335), et en continuant à faire tourner la table on verra cette barre horizontale descendre graduellement vers le bas du champ jusqu'à ce qu'elle disparaisse. Nous voyons donc que dans les sections de cristaux uniaxes, lorsque l'axe optique est en dehors du champ une barre noire droite le traverse en restant parallèle à la section principale de l'un des Nicols, et que durant la rotation cette barre traverse le champ en

Fig. 336.

restant parallèle à elle-même, et disparaît; nous observons aussi que si l'on continue à faire tourner la table, l'autre bras apparaît, s'avance parallèlement à la section principale de l'autre Nicol, se déplace avec la même régularité que la première barre, et disparaît à son tour. Ces phénomènes permettent bien souvent de décider si une figure d'axes partiellement visible est celle d'un cristal uniaxe ou d'un cristal biaxe.

b) Cristaux à deux axes. — Lorsqu'un des axes optiques est dans le champ du microscope, on observe une barre noire qui se distingue facilement d'un des bras de la croix que montrent les cristaux uniaxes, car elle se courbe dès

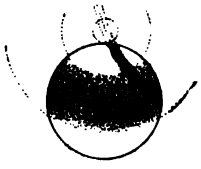


Fig. 337.

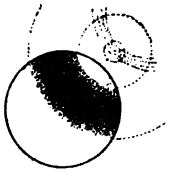


Fig. 338.

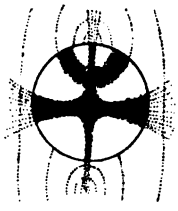


Fig. 339.

qu'on vient à faire tourner la préparation dans son plan; la barre ne traverse pas le champ en restant parallèle à elle-même comme le font les bras de la croix des cristaux uniaxes. On observe des phénomènes analogues lorsque le centre du champ est situé entre l'un des axes optiques et la grosse barre de la croix qu'on aperçoit quand la préparation a la position normale (fig. 316); c'est ce que montrent les figures 336, 337 et 338. Dans toutes ces figures les deux axes optiques et la bissectrice sont hors du champ. La figure 336 montre une partie de la barre la moins large de la croix qu'on observe pour la position normale. On voit (fig. 337) la figure que montre la même plage lorsqu'on fait tourner la table de l'appareil; la croix s'est transformée en hyperboles et l'une d'elles traverse le champ à droite. Si l'on continue à faire tourner le minéral l'hyperbole n'apparaît plus dans le champ (figure 338) et même, pour des préparations épaisses, on n'aperçoit plus que des segments des anneaux intérieurs.

Dans les figures 339, 340 et 341 les cristaux occupent par rapport aux sections

Fig. 340.

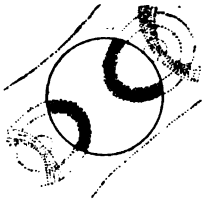


Fig. 341.

principales des Nicols, des positions analogues aux exemples donnés par les figures 336, 337 et 338, mais ici la bissectrice est dans le champ. Pour la figure 339 la position est normale, c'est-à-dire que le plan des axes optiques coïncide avec l'une des sections principales des deux nicols. Dans la figure 340 la plaque a subi une rotation de 25 à 30°, deux parties des hyperboles sont visibles aux bords droit

et gauche du champ, avec des segments des deux systèmes d'anneaux colorés. Dans la figure 341 les hyperboles sont hors du champ, les sections principales des Nicols sont à 45° du plan des axes optiques. Dans ce cas on ne voit plus que des portions des lemniscates.

Mesure de l'angle des axes optiques. — Appareils d'axes. — L'observation des figures d'interférence ne sert pas seulement à reconnaître si un cristal est uniaxe ou biaxe, et dans ce dernier cas, quel est le genre de dispersion qu'il présente, mais elle sert aussi à mesurer l'angle des axes optiques. Dans ce but on clive ou on taille une plaque perpendiculairement à la bissectrice aiguë. L'ouverture de l'angle des axes optiques représentée par 2V est appelée l'*angle vrai*. Les deux rayons lumineux qui traversent le cristal suivant les deux axes optiques sont déviés lors de leur passage dans l'air et forment entre eux l'*angle apparent* 2E (voir fig. 342) I; c'est ce dernier angle qu'on observe par l'expérience. Dans la suite nous représenterons par V_a la moitié de l'angle aigu vrai, et par V_o la

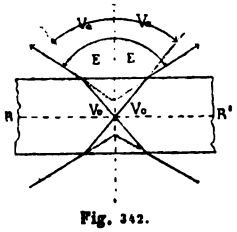


Fig. 342.

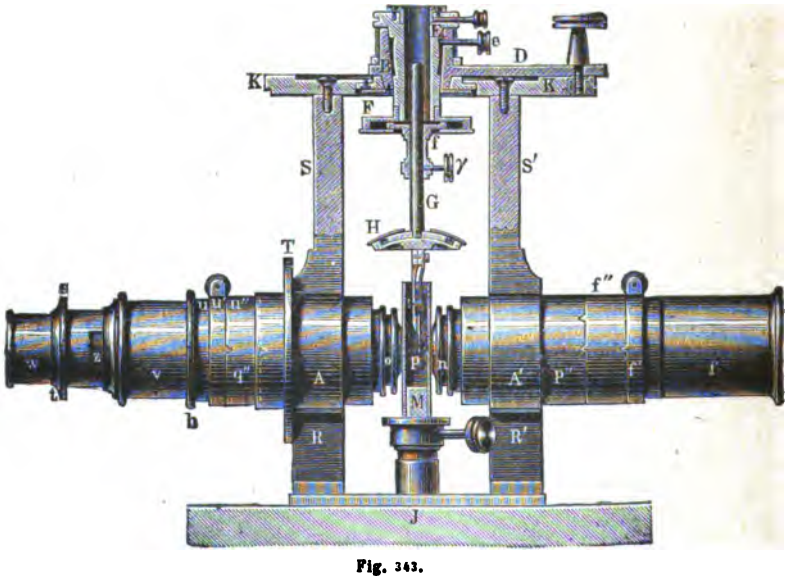


Fig. 343.

moitié de l'angle obtus vrai; par E_a, E_o les angles correspondants dans l'air.

Pour mesurer l'angle apparent $2E_a$ on se sert d'un appareil polarisant à lumière convergente appelé *appareil d'axes* (fig. 343); sa partie optique est la même que celle de l'appareil fig. 311 mais son axe est placé dans une position horizontale. La lame à examiner est prise dans la pince *p*; les deux pièces F et H permettent de la centrer et de lui donner une position

telle que le plan des axes optiques soit horizontal; l'axe vertical G auquel la pince p est attachée se meut au centre d'un limbe gradué horizontal K entraîné par la pièce D qui porte un vernier. La lame centrée et ajustée, on amène successivement les pôles des deux axes au centre du réticule de l'oculaire; l'angle dont on a tourné est donné par une simple lecture sur le limbe gradué K.

La figure 344 donne une projection horizontale de la position de la plaque au moment où l'on observe un des axes, et la figure 345 montre la coïncidence

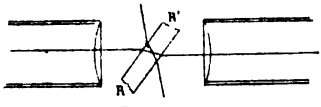


Fig. 344.

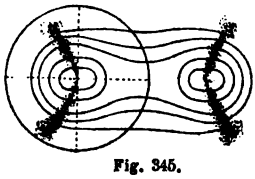


Fig. 345.

du centre du réticule avec le point d'émergence de cet axe dans le champ de l'instrument.

Dans le but de pouvoir déterminer l'angle des axes optiques à des températures plus élevées que la température ordinaire, on peut placer sur le support J une cage dans laquelle on introduit la plaque à examiner, et dont l'air intérieur est chauffé par deux lampes, la température est donnée par deux thermomètres.

Quand l'angle des axes optiques est tellement grand que V_a dépasse l'angle limite (voir page 117), on plonge la plaque dans une cuve à parois planes et parallèles remplie d'huile (M. fig. 343). Dans l'huile les angles correspondants a V_a et V_o sont désignés par H_a et H_o.

Dans la direction des axes optiques la réfraction est simple, l'indice de réfraction correspondant est représenté par n_β et l'on a la relation

$$\sin V_a = \frac{1}{n_\beta} \sin E_a .$$

Si l'on mesure l'angle des axes optiques dans l'huile, dont nous représentons l'indice de réfraction par n, on a

$$\sin V_a = \frac{n}{n_\beta} \sin H_a .$$

Si dans un même individu on peut tailler deux plaques dans deux directions perpendiculaires aux bissectrices aiguë et obtuse, il est possible de déterminer H_a et H_o, et alors on peut trouver aussi l'angle vrai des axes optiques sans passer par la détermination de n_β, car on a : $\sin V_o = \frac{n}{n_\beta} \sin H_o$, ou, puisque $\sin V_o = \cos V_a$, $\cos V_a = \frac{n}{n_\beta} \sin H_o$; si nous divisons membre

par membre les équations $\sin V_a = \frac{n}{n_\beta} \sin H_a$, et $\cos V_a = \frac{n}{n_\beta} \sin H_o$, nous avons $\operatorname{tg} V_a = \frac{\sin H_a}{\sin H_o}$.

Quand on veut mesurer l'angle des axes optiques dans une plaque qui n'est pas parfaitement perpendiculaire à la bissectrice aiguë ou que l'angle des axes

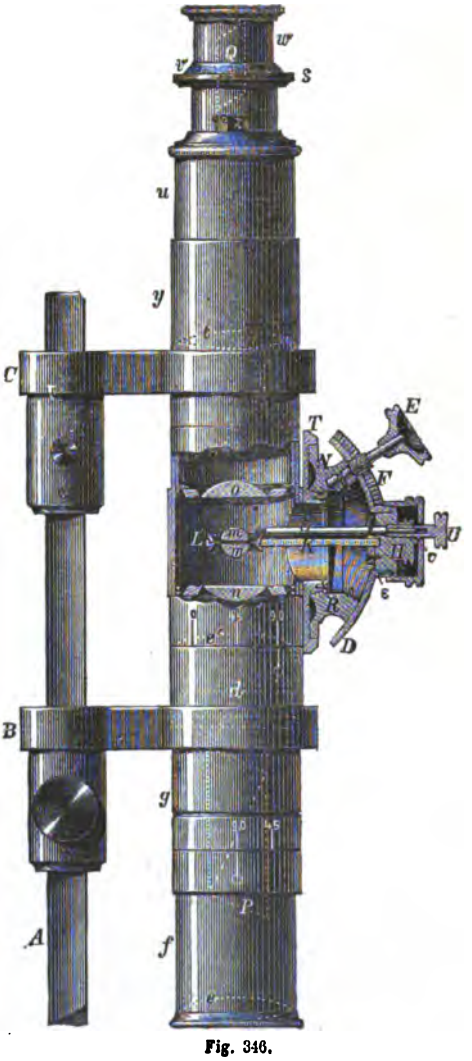


Fig. 346.

optiques est très grand on peut se servir avec avantage de l'appareil représenté dans la figure 346. La plaque est placée entre deux demi-sphères de verre *m*, *m* et peut alors exécuter trois rotations autour de trois axes perpendiculaires :

1° une rotation complète autour d'un axe horizontal, perpendiculaire à l'axe de l'instrument et situé dans le plan du papier; 2° une rotation complète autour de l'axe de l'appareil à l'aide de la crémaillère L commandée par le bouton U, et enfin 3° une rotation partielle autour d'un axe perpendiculaire au plan du papier à l'aide de la crémaillère F commandée par E. La première et la seconde rotations servent à donner à la plaque une orientation telle que le plan des axes optiques soit perpendiculaire à l'axe de la troisième rotation et que ce plan soit tourné de 45° par rapport aux sections des deux Nicols croisés P et Q indiqués par des pointillés dans la figure; la troisième rotation sert à la mesure de l'angle des axes optiques; elle entraîne le vernier N qui se meut en face du limbe T, au plan duquel l'axe de rotation reste toujours perpendiculaire.

Afin qu'il n'y ait pas de réflexions totales, on interpose une goutelette d'huile ou d'un autre liquide suffisamment réfringent entre la plaque et les demi-sphères *m*, *m*.

Si n_v est l'indice de réfraction du verre des demi-sphères *m*, n_β l'indice de réfraction moyen de la plaque, et $2G_a$ l'angle mesuré, on a pour l'angle vrai des axes optiques : $\sin V_a = \frac{n_v}{n_\beta} \sin G_a$.

Le phénomène de la dispersion des axes nous a déjà montré que l'angle des axes optiques varie avec la couleur, de sorte que les déterminations précises doivent être faites pour chaque couleur en particulier, ce qui nécessite l'emploi d'une lumière monochromatique. Le meilleur moyen est de se servir de flammes colorées,

Les observations faites de cette manière démontrent par des nombres le phénomène de la dispersion des axes, et peuvent servir à l'explication que nous avons donnée de la distribution des couleurs, dans les figures d'axes.

L'angle des axes optiques est pour chaque minéral biaxe une grandeur bien déterminée, qui le plus souvent n'est soumise qu'à de faibles variations. Cet angle est donc pour la plupart des minéraux un élément caractéristique. Quand plusieurs substances minérales isomorphes (voir plus loin *Isomorphisme*) se superposent, chaque couche possède un angle différent; un mélange isomorphe, au contraire, possède un angle variable suivant la nature et la quantité des substances isomorphes qui entrent dans le mélange.

Orientation optique. — *a*) *Cristaux biaxes.* — Rappelons que la bissectrice de l'angle aigu des axes optiques est appelée 1re *bissectrice* ou *bissectrice aiguë*, celle de l'angle obtus étant la 2de *bissectrice* ou *bissectrice obtuse*. Ces deux bissectrices sont situées dans le plan des axes optiques et sont perpendiculaires entre elles. Si nous menons une droite par le point d'intersection des axes optiques perpendiculairement à leur plan, les trois plans déterminés par cette droite et les deux bissectrices, sont les *sections principales*. Une de ces sections principales coïncide donc avec le plan des

axes optiques, les deux autres sont perpendiculaires à ce plan et perpendiculaires entre elles.

Suivant les idées de Fresnel ces trois droites sont les *axes d'élasticité optique*. Un de ces axes est l'axe de la plus grande élasticité, on le désigne par α; un autre est l'axe de moyenne élasticité β, le troisième est l'axe de plus petite élasticité γ. La normale aux axes optiques est toujours l'axe β.

L'orientation optique c. à d. la position des axes α, β, γ pour une certaine couleur du spectre par rapport aux axes cristallographiques, est déterminée pour chacune des substances biaxes; pour la trouver on a deux problèmes à résoudre : 1° on doit déterminer les angles que font les trois axes d'élasticité optique avec les axes cristallographiques; 2° il faut rechercher laquelle des désignations α, β, γ il convient d'attribuer à chacun de ces axes d'élasticité. Le premier problème est résolu d'avance pour les cristaux rhombiques, car dans ces cristaux les axes d'élasticité optique coïncident pour toutes les couleurs avec les axes cristallographiques; et il ne présente aucune difficulté pour ceux du système monoclinique, puisqu'un des axes α, β, γ est toujours perpendiculaire au plan de symétrie, donc déterminé d'avance, et que les deux autres axes situés dans le plan de symétrie, sont identiques avec les directions d'extinction d'une plaque parallèle à ce plan. Pour les cristaux tricliniques, au contraire, aucun des trois axes α, β, γ n'est donné d'avance; un moyen de trouver leur direction, c'est de chercher la position exacte du plan des axes optiques. On examine d'abord le cristal tel quel dans l'appareil de Nörremberg (fig. 311) pour voir si aucun des couples de faces parallèles dont le cristal est limité ne montre les courbes d'interférence; en ce cas, on taille des plaques dans des directions convenablement choisies jusqu'à ce qu'on en obtienne une qui montre la figure d'interférence, et l'on modifie la direction de cette plaque de manière à la rendre parfaitement perpendiculaire à l'une des bissectrices, ce qu'on vérifie à l'aide de l'appareil de Nörremberg. On sait alors que l'un des trois axes (α ou γ) est perpendiculaire à la plaque et que les deux autres sont situés dans le plan de la plaque, l'un des axes (β) étant normal au plan des axes optiques et l'autre (γ ou α) parallèle à ce plan. Ajoutons que l'appareil fig. 346 présente de grands avantages pour ces recherches.

Le moyen le plus simple pour résoudre le second problème c'est de tailler une plaque perpendiculaire à la bissectrice aiguë et de déterminer le signe optique de cette plaque :

1°) Si le cristal est optiquement positif on a : bisectrice aiguë (normale à la plaque) $= \gamma$; bissectrice obtuse (trace du plan des axes optiques sur la plaque) $= \alpha$; la normale à α et γ est β (fig. 347).

2°) Pour les cristaux négatifs on trouve : bissectrice aiguë $= \alpha$; bissectrice obtuse $= \gamma$; la normale à α et γ est encore β (fig. 348).

L'axe α est souvent appelé *bissectrice négative* et l'axe γ *bissectrice positive*; on voit facilement pourquoi.

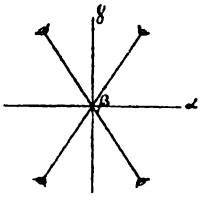


Fig. 347.

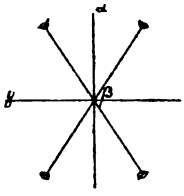


Fig. 348.

b) Cristaux uniaxes. — Nous avons vu que dans les cristaux biaxes les axes d'élasticité optique sont toujours l'axe cristallographique vertical et les directions qui lui sont perpendiculaires et suivant lesquelles l'élasticité optique est la même. Il s'agit donc de rechercher si l'élasticité suivant l'axe vertical est plus grande ou plus petite que suivant une direction perpendiculaire. A cet effet, on taille une plaque perpendiculaire à l'axe vertical ou axe optique et l'on détermine si le cristal est optiquement positif ou négatif: dans le premier cas l'élasticité suivant l'axe vertical est plus petite et dans le second cas plus grande que celle suivant les directions perpendiculaires à l'axe vertical (voir pages 118 et 119).

Une plaque parallèle à l'axe vertical peut également servir à déterminer si l'axe vertical est l'axe de la plus grande ou de la plus petite élasticité; on recherche par la méthode indiquée page 130, suivant laquelle des deux directions d'extinction l'élasticité optique est la plus grande.

Si l'on suppose que dans un cristal biaxe positif l'angle des axes optiques devienne de plus en plus petit jusqu'à se réduire à zéro, on aboutit à un cristal uniaxe positif. Dans un tel cristal l'axe principal est donc l'axe de plus petite élasticité γ, et toutes les directions normales à cet axe sont des axes de plus grande élasticité α. Si l'on part d'un cristal biaxe négatif et que l'on fasse encore tendre vers zéro l'angle aigu des axes optiques, on arrive à un cristal uniaxe négatif dont l'axe principal est alors l'axe de plus grande l'élasticité α, tandis que tous les axes normaux à celui-ci sont des axes γ.

Il nous reste à expliquer comment on détermine le signe optique d'un cristal.

Détermination du signe optique. — *a) Cristaux uniaxes.* Pour déterminer si des minéraux uniaxes sont positifs ou négatifs, on place sous le microscope polarisant une plaque taillée perpendiculairement à l'axe, de manière à observer la figure d'interférence fig. 313; ensuite on introduit dans l'espace libre sous l'analyseur un *mica quart d'onde*; on

désigne sous ce nom une mince lamelle de Mica d'une épaisseur telle que les deux rayons résultant de la double réfraction qui s'y est faite sont en retard l'un sur l'autre d'un quart d'onde pour la lumière colorée en jaune par le sodium. Sur cette lamelle le plan des axes optiques est indiqué par une flèche. Le *mica quart d'onde* est introduit horizontalement dans l'instrument, de telle façon que la flèche soit placée à 45° par rapport aux sections principales des nicols. On observe alors que la figure d'axe est brisée : à l'intérieur de deux quadrants opposés les anneaux se sont élargis, tandis que dans les deux autres quadrants ils se sont rétrécis; les premiers quadrants montrent deux gros points noirs tout près du centre. (figures 349 et 350.) Quand la droite qui joint ces deux points est perpendi-

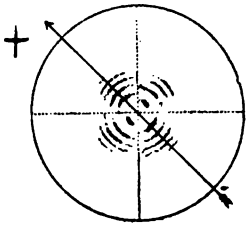


Fig. 349.

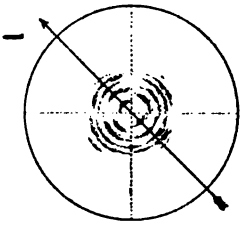


Fig. 350.

culaire à la direction de la flèche la plaque en question est positive (fig. 349); elle est négative quand cette droite est parallèle à la flèche (fig. 350).

b) Cristaux biaxes. — S'il s'agit de déterminer le signe optique de cristaux biaxes, on opère de la manière suivante. Après avoir obtenu la figure d'axes des cristaux biaxes dans la position normale (figure 316), on interpose la lame de Mica comme dans le cas précédent. La figure d'axes se brise encore; les anneaux s'élargissent dans deux quadrants opposés, et

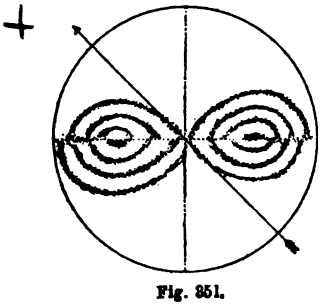


Fig. 351.

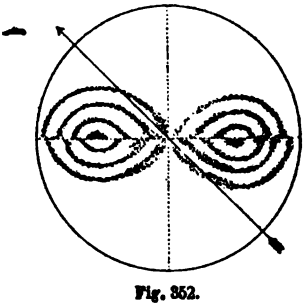


Fig. 352.

se rétrécissent dans les deux autres. Si la flèche passe par les quadrants des anneaux rétrécis le cristal est positif (fig. 351), il est négatif dans le cas contraire (fig. 352).

Le signe optique d'un minéral est un caractère important; il se présente

cependant des cas où l'on ne peut plus en tenir compte. C'est ainsi que des minéraux formés par le mélange d'éléments isomorphes peuvent avoir un signe optique qui dépend de la constitution du mélange.

Indices de réfraction principaux. — *a) Cristaux biaxes.*—Lorsqu'on a trouvé la direction des axes d'élasticité optique α, β, γ on peut déterminer les indices de réfraction ou les valeurs inverses de l'élasticité optique suivant les trois axes α, β, γ en se servant du procédé suivant.

On taille dans les cristaux biréfringents des prismes dont l'arête est respectivement parallèle aux directions α, β, γ; on peut déterminer alors les indices de réfraction (*indices principaux*) des rayons dont les vibrations sont parallèles aux axes d'élasticité. Chacun de ces primes donne deux spectres : on observe celui dont les vibrations sont parallèles à l'arête, ce qu'on constate à l'aide du Nicol. Celui de ces prismes, dont l'arête est parallèle à l'axe d'élasticité α (fig. 353) permet de déterminer l'indice minimum n_α. Le prisme dont l'arête est parallèle à β permet de déterminer l'indice moyen n_β et le prisme parallèle à γ, l'indice maximum n_γ; en effet *plus l'élasticité est grande dans une direction, plus grande aussi est la vitesse du rayon qui vibre dans cette direction et plus faible l'indice de ce rayon.*

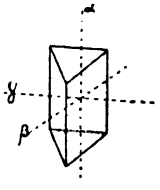


Fig. 353.

b) Cristaux uniaxes. Pour les cristaux uniaxes il suffit de tailler un seul prisme dont l'arête soit parallèle à l'axe principal, les deux spectres permettent de déterminer l'indice n_ε pour les vibrations parallèles à l'axe principal, et l'indice n_ω pour celles qui sont perpendiculaires au même axe.

La différence $n_\gamma - n_\alpha$ donne la grandeur de la biréfringence du corps à deux axes optiques; $n_\varepsilon - n_\omega$ est la grandeur de la biréfringence pour les corps uniaxes positifs, et $n_\omega - n_\varepsilon$ donne cette grandeur pour les cristaux uniaxes négatifs.

L'orientation optique avec les indices principaux pour une couleur donnée constituent ce qu'on appelle les *Constantes optiques* du cristal pour cette couleur; ces constantes varient naturellement pour les différentes couleurs du spectre.

Ellipsoïdes d'élasticité optique. — Surfaces de l'onde. — On peut expliquer les phénomènes optiques en partant de l'idée que Fresnel se faisait de la constitution de l'éther dans les milieux cristallins et du mode de propagation des mouvements vibratoires. Fresnel attribuait à l'éther une constitution identique à celle du milieu qu'il pénètre : il admettait un éther cristallin à l'intérieur des corps cristallisés.

Supposons qu'une molécule M de cet éther cristallin ait subi, à la suite

d'un mouvement vibratoire quelconque, un déplacement très petit *dl* dans une direction déterminée, et que E soit, en grandeur et en direction, la force élastique de l'éther mise en jeu par ce déplacement *dl;* la force E peut être représentée par la droite ME dont la direction coïncidera avec celle de E et dont la longueur sera proportionnelle à la grandeur de E. Supposons maintenant que la molécule M soit sollicitée successivement dans tous les sens possibles mais que la grandeur des déplacements reste toujours égale à *dl*, et construisons pour chacun des déplacements de M la droite correspondante ME; il est facile de démontrer qu'alors, dans le cas le plus général, les points E rempliront la surface d'un éllipsoïde à trois axes qui est appelé *Ellipsoïde d'élasticité optique.*

Voyons quel est la forme de cet éllipsoïde pour les trois classes de cristaux que nous avons distinguées au point de vue optique.

a) *Cristaux isotropes.* — Dans les cristaux du système cubique (et naturellement aussi dans les corps amorphes) l'éther a la même élasticité dans toutes les directions : l'éllipsoïde d'élasticité optique est une sphère et, par conséquent, l'ébranlement de l'éther se transmet dans toutes les directions avec la même vitesse. La surface des ondes lumineuses issues d'un point quelconque à l'intérieur du corps isotrope, ou, ce qui revient au même, la *surface de l'onde* est une sphère. Dans ces conditions la réfraction se fait suivant la loi de Descartes.

b) *Cristaux uniaxes.* — Pour les cristaux à un axe optique, c'est-à-dire dans ceux des *systèmes hexagonal* et *tétragonal* la constitution de la matière n'est pas la même dans toutes les directions. Les propriétés optiques de ces cristaux sont différentes dans différentes directions, mais sont symétriques par rapport à l'axe principal ou vertical; ces propriétés sont les mêmes dans toutes les directions également inclinées sur cet axe.

Fresnel attribue à l'éther des propriétés analogues; une élasticité variable avec la direction, cette élasticité étant la même dans toutes les directions également inclinées sur l'axe principal. Il suit de là que dans les cristaux uniaxes l'éllipsoïde d'élasticité optique est un éllipsoïde de révolution, dont l'axe de révolution coïncide avec l'axe vertical ou axe optique de ces cristaux.

Soit CZ (fig. 354) l'axe optique, CR une direction quelconque, et CP une droite perpendiculaire au plan formé par CZ et CR; une vibration CV se propageant dans la direction CR peut se décomposer en une vibration CP perpendiculaire au plan RCZ, et en une autre CQ située dans ce plan et perpendiculaire à CP. La vibration CP se propage avec une vitesse constante, mais la vitesse de propagation de la vibration CQ varie avec la direction CR. On voit ainsi qu'en général, une vibration donne naissance à deux ondes

dont l'une, se propageant toujours avec une vitesse constante dans toutes les directions, est sphérique et obéit aux lois ordinaires de la réfraction, c'est l'*onde ordinaire*, tandis que l'autre, se propageant avec une vitesse variable, ne suit pas les mêmes lois; on l'appelle *onde extraordinaire*. Le calcul montre que cette dernière onde a la forme d'un ellipsoïde de révolution dont

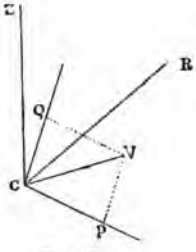


Fig. 354.

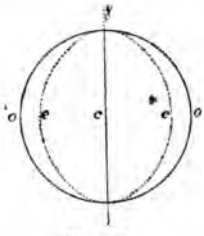


Fig. 355.

Fig. 356.

l'axe de révolution est égal au diamètre de la sphère et coïncide avec l'axe optique : dans les cristaux uniaxes la *surface de l'onde* se compose donc de deux nappes, dont l'une est une sphère, l'autre un ellipsoïde de révolution; ces nappes se touchent aux extrémités de l'axe optique.

L'ellipsoïde d'élasticité optique ainsi que la surface de l'onde se présentent sous un aspect différent selon que le cristal dont il s'agit, est positif ou négatif. Dans les cristaux positifs l'axe optique ou vertical est l'axe γ, c'est-à-dire, l'axe de plus petite élasticité, tandis que toutes les directions perpendiculaires à l'axe vertical sont des axes de plus grande élasticité; l'ellipsoïde d'élasticité optique est donc un ellipsoïde de révolution aplati suivant l'axe de révolution. Quant à la surface de l'onde, elle se compose d'un ellipsoïde de révolution allongé suivant l'axe optique et d'une sphère qui est extérieure à l'ellipsoïde (fig. 355, coupe parallèle à l'axe optique; fig. 356, coupe normale à l'axe optique) : la vitesse de propagation étant d'autant plus grande que l'élasticité mise en jeu est plus grande, il est clair qu'une vibration cheminant

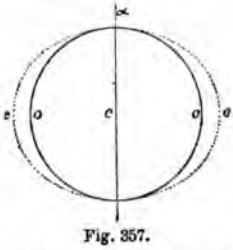


Fig. 357.

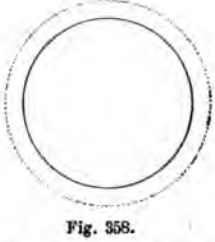


Fig. 358.

suivant une direction normale à l'axe optique, se décomposera en deux ondes, dont l'une, l'onde extraordinaire, vibrant suivant l'axe vertical se propagera plus lentement que l'autre l'onde ordinaire, qui vibre perpendiculairement à l'axe vertical.

Il est facile de voir que l'ellipsoïde d'élasticité optique d'un cristal négatif est un ellipsoïde de révolution allongé suivant l'axe de révolution, et que dans la surface de l'onde d'un cristal négatif l'ellipsoïde est aplati suivant l'axe optique et entoure la sphère (fig. 357, 358).

c) Cristaux biaxes. — Pour les cristaux des trois derniers systèmes l'ellipsoïde d'élasticité optique est un ellipsoïde à trois axes; les trois axes de cet ellipsoïde coïncident avec les axes α, β, γ et leurs longueurs sont respectivement proportionnelles aux valeurs inverses des trois indices principaux: donc proportionnelles à $\frac{1}{n_\alpha}, \frac{1}{n_\beta}, \frac{1}{n_\gamma}$.

Le calcul montre qu'en général toute vibration se décompose en deux autres se propageant avec des vitesses différentes; le mouvement issu d'un point du milieu se propage en suivant une onde double qui ne se laisse plus dédoubler en un ellipsoïde et une sphère, comme c'était le cas pour les cristaux uniaxes: nous n'avons donc plus d'onde sphérique, et par conséquent, la loi de Descartes est absolument en défaut.

La surface de l'onde des cristaux biaxes a une forme très compliquée, mais ses intersections avec les trois plans de symétrie, que nous avons appelés les sections principales (page 143), sont assez simples: elles se composent d'un cercle et d'une ellipse. Le cercle correspond aux ondes vibrant norma-

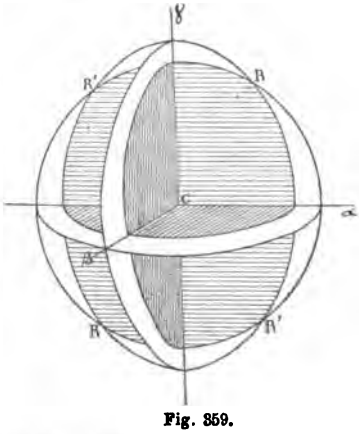


Fig. 359.

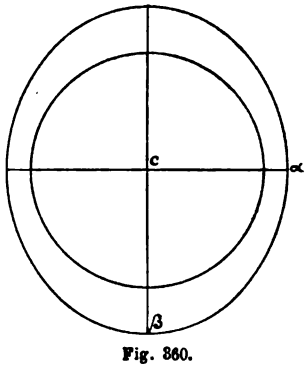


Fig. 360.

lement au plan de la section, toutes ces ondes mettant en jeu la même élasticité se propagent avec la même vitesse. L'ellipse correspond aux ondes dont les vibrations sont situées dans ce plan, mettant ainsi en jeu des élasticités variables.

Prenons les axes α, β, γ (fig. 359) respectivement comme axes des x, y et z; les vibrations dirigées suivant ces axes se propagent avec des vitesses

$\frac{1}{n_\alpha}, \frac{1}{n_\beta}, \frac{1}{n_\gamma}$, telles que $\frac{1}{n_\alpha} > \frac{1}{n_\beta} > \frac{1}{n_\gamma}$. Dès lors les sections faites dans la surface de l'onde se composent :

a) Dans le plan xy, d'un cercle de rayon $\frac{1}{n_\gamma}$ et d'une ellipse dont les demi-axes sont $\frac{1}{n_\alpha}$ et $\frac{1}{n_\beta}$ (fig. 360).

b) Dans le plan yz, d'un cercle de rayon $\frac{1}{n_\alpha}$ et d'une ellipse dont les demi-axes sont $\frac{1}{n_\beta}$ et $\frac{1}{n_\gamma}$ (fig. 361).

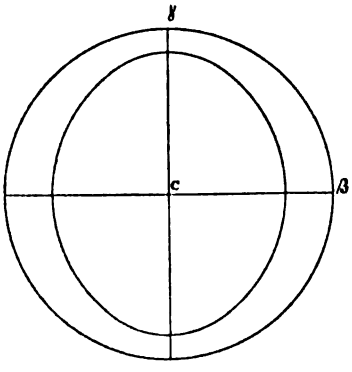


Fig. 361.

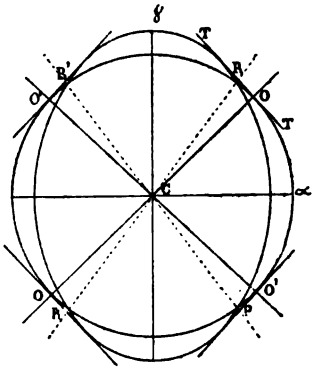


Fig. 362.

c) Dans le plan xz, d'un cercle de rayon $\frac{1}{n_\beta}$ et d'une ellipse dont les demi-axes sont $\frac{1}{n_\alpha}$ et $\frac{1}{n_\gamma}$ (fig. 362).

On voit que dans le plan xz, le cercle et l'ellipse se coupent en quatre points; menons près de chacun de ces points la droite TT, tangente commune du cercle et de l'ellipse, et abaissons normalement à TT la droite CO : la direction CO et la direction CO′ qui lui est symétrique par rapport à $C\gamma$, sont ce que nous avons appelé les axes optiques.

Pour l'angle V que l'axe optique fait avec l'axe γ, on a la relation suivante :

$$\cos V = \sqrt{\frac{\frac{1}{n_\beta^2} - \frac{1}{n_\gamma^2}}{\frac{1}{n_\alpha^2} - \frac{1}{n_\gamma^2}}}.$$

Polarisation rotatoire. — Certaines substances comme le Quartz, le Cinabre etc. présentent des phénomènes particuliers que nous allons décrire sommairement.

Envisageons le cas du Quartz qui est le plus important. Lorsqu'une lame de Quartz taillée perpendiculairement à l'axe optique est placée entre les Nicols croisés, elle rétablit le passage de la lumière, et pour obtenir l'obscurité avec une lumière simple, il faut tourner l'analyseur d'un certain angle, tantôt à gauche, tantôt à droite. Cela tient à ce que le Quartz possède la propriété de tourner le plan de polarisation : la direction de la vibration issue du nicol polariseur subit une déviation dans la plaque de Quartz ; cette déviation est proportionelle à l'épaisseur de la plaque. Ce phénomène a été désigné sous le nom de *Polarisation rotatoire.*

Les angles de rotation diffèrent tellement pour les diverses radiations, qu'il est impossible de rétablir l'extinction entre les Nicols croisés si l'on emploie de la lumière blanche. L'angle dont il faudrait faire tourner pour éteindre les rayons jaunes, par exemple, permettrait encore le passage d'une notable quantité de rayons rouges et de rayons violets; aussi la plaque de Quartz reste-elle toujours colorée d'une couleur qui dépend de l'épaisseur de la plaque.

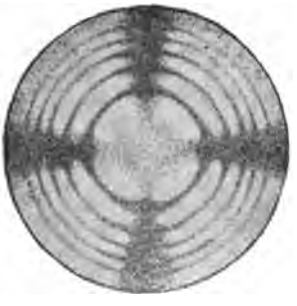


Fig. 363.

L'image en lumière convergente, entre les Nicols croisés, se compose d'un centre coloré qu'entourent des anneaux isochromatiques interrompus par deux branches de croix qui ne se rejoignent pas au milieu, la polarisation rotatoire ne se produisant que pour la direction de l'axe optique (figure 363). Notons que pour des sections très minces de Quartz, comme celles qu'on a dans les préparations microscopiques de roches, les anneaux ne sont pas visibles et les bras de la croix se rejoignent.

Fig. 364.

Fig. 365.

Certains cristaux de Quartz tournent le plan de polarisation à droite et sont dits *dextrogyres;* d'autres le tournent à gauche et sont dits *lévogyres.*

Un cristal est lévogyre quand il porte les faces rhombes *s* et plagièdres *x* en bas et à gauche d'une face *p* (fig. 181). Si au contraire ces mêmes faces se montrent en bas et à droite d'une face *p* le cristal est dextrogyre (fig. 182). La superposition de deux Quartz, l'un dextrogyre, l'autre lévogyre, dans l'appareil à lumière convergente, fait apparaître au centre de l'image quatre branches noires en spirales, dites *Spirales d'Airy*. Ces spirales sont elles-mêmes dextrogyres (fig. 364) ou lévogyres (fig. 365) suivant que la plaque inférieure est dextrogyre ou lévogyre.

Fresnel a démontré qu'une onde lumineuse polarisée rectilignement qui traverse un cristal de Quartz dans une direction parallèle à l'axe vertical, est dédoublée en deux autres ondes qui se propagent avec des vitesses différentes; ces deux ondes sont *polarisées circulairement*, c'est-à-dire que les chemins parcourus par les particules étherées, dans ce mode vibratoire, ne sont plus des droites comme dans le cas de la polarisation rectiligne, mais des cercles. L'une des vibrations circulaires est dextrogyre, l'autre lévogyre; en émergeant de la plaque elles recomposent une vibration polarisée rectilignement, mais le plan de polarisation de cette vibration sera tourné à droite ou à gauche par rapport au plan de polarisation de la lumière incidente selon que la vibration dextrogyre ou la vibration lévogyre se propage le plus vite.

Les seuls cristaux qui puissent montrer le phénomène de la polarisation rotatoire sont les cristaux uniaxes et les cristaux isotropes.

Pléochroïsme. — Les cristaux biréfringents lorsqu'ils sont colorés, même artificiellement, montrent en lumière transmise, des teintes qui peuvent être différentes pour différentes directions. Lorsque le phénomène est bien prononcé, on observe chez les cristaux à un axe optique la même couleur pour toutes les directions perpendiculaires à l'axe principal, et une autre couleur pour toutes celles parallèles à cet axe *(Dichroïsme)*. Les minéraux biaxes montrent pour trois directions qui sont perpendiculaires entre elles trois couleurs différentes *(Trichroïsme)*. Certains cristaux de Beryl (hexagonal), par exemple, sont verts lorsqu'on les regarde perpendiculairement à l'axe, ils sont bleus pour une direction parallèle au même axe. La Cordiérite (rhombique) de Bodenmais est bleue; mais si l'on taille les cristaux en cubes de manière à ce que les faces soient parallèles aux faces terminales, on observe en regardant à travers la face 100 une teinte bleu grisâtre; à travers la face 010 la teinte est jaune, et à travers la face de 001 bleu indigo.

Les phénomènes qu'on constate ainsi en lumière ordinaire montrent donc que l'absorption est différente suivant différentes directions cristollographiques.

Pour voir comment l'absorption varie avec la direction des vibrations lumineuses, on doit naturellement recourir à l'emploi de la lumière polarisée,

Pour ces recherches on peut se servir du microscope à lumière parallèle. On enlève le Nicol supérieur, et on met sur la table de l'instrument la plaque

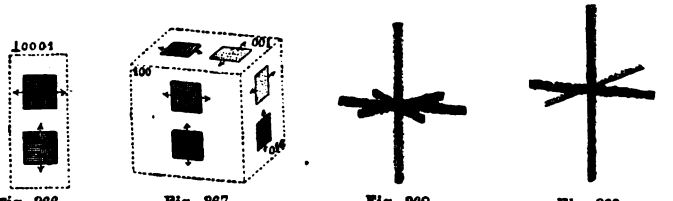


Fig. 366. Fig. 367. Fig. 368. Fig. 369.

dont on veut déterminer le polychroïsme. Une plaque de Béryl taillée parallèlement à l'axe principal, apparaîtra bleue lorsque la section principale du Nicol polariseur sera perpendiculaire à l'axe principal du Béryl, et verte lorsque la section principale sera parallèle à cet axe (fig. 366) (1). Toutes les lames perpendiculaires à l'axe principal conservent la même couleur pour une rotation complète; elles se comportent toutes de la même façon au point de vue de l'absorption.

Si l'on examine de la même manière des lames de Cordiérite, on observe deux couleurs pour chacune de ces lames taillées parallèlement aux faces terminales (fig. 367). Ainsi une lame parallèle à (100) donne parallèlement à *b* bleu foncé; parallèlement à *c* jaune; une lame suivant (010) donne parallèlement à *a* bleu gris, parallèlement à *c* jaune; une lame suivant (001) donne parallèlement à *a* bleu gris, parallèlement à *b* bleu foncé.

On nomme *couleurs d'axes* celles qui répondent aux axes principaux d'élasticité.

C'est ainsi que pour le Béryl les couleurs d'axes, sont le vert et le bleu (fig. 368); pour la Cordiérite ces mêmes couleurs sont le bleu gris, le bleu foncé et le jaune (fig. 369).

Un appareil très commode pour l'étude du polychroïsme est la *loupe dichroscopique* (fig. 370). La partie essentielle de cette loupe est un prisme de Calcite P. En plaçant l'œil devant la lentille L et en regardant à travers le prisme P on observe deux images O et E de l'ouverture carrée T. La plaque dans laquelle se

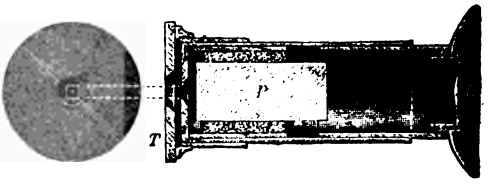


Fig. 370.

(1) Dans les figures 366-369 le *bleu* est indiqué par des hachures verticales, le *vert* par des hachures horizontales, le *jaune* par des hachures croisées et le bleu-gris par un *pointillé*.

trouve cette ouverture peut tourner autour de l'axe de l'instrument et on peut lui donner une position telle que les deux images O et E se touchent. La plaque polychroïque est placée devant l'ouverture T de façon à ce que ses directions d'extinction coïncident avec les directions de vibration des deux ondes qui donnent les images O et E : les deux images O et E montrent alors justaposées les couleurs de la plaque qui répondent aux deux directions d'extinction.

Si l'on regarde au travers du Béryl, ou de la Cordiérite dans des directions qui sont intermédiaires aux directions principales d'élasticité on observe des couleurs de mélange. Les couleurs qu'on aperçoit à l'œil nu par transparence à certaines faces sont les *couleurs de face.*

Cristaux maclés. — Les propriétés optiques permettent de constater facilement si un cristal est simple ou maclé; en effet, l'orientation optique des individus d'une macle étant différente, il faut que les directions d'extinction et les couleurs de polarisation de deux individus maclés, observées dans une même plage, diffèrent également. Si pour une certaine position de la plaque l'un des individus s'éteint, l'autre s'éclairera plus ou moins et présentera certaines couleurs, et réciproquement.

Prenons comme exemple une macle d'Aragonite ($CaCO_3$). Ce minéral est rhombique et offre presque toujours des macles suivant (110) (fig. 277); le plan des axes optiques est parallèle à (100) et la bissectrice aiguë, qui est négative, coïncide avec l'axe vertical c. Il en résulte que les axes d'élasticité α, β, γ coïncident respectivement avec les axes cristallographiques c, a, b. Taillons une plaque perpendiculaire à l'axe c (fig. 371) et examinons-la en lumière polarisée parallèle; les extinctions dans l'individu I seront parallèles à β_I et à γ_I, tandis que dans l'individu II elles seront parallèles à β_{II} et γ_{II}. Comme ces directions d'extinction sont différentes, la plaque ne pourra pas s'éteindre tout entière, en même temps pour I et pour II.

On constate souvent que l'un des individus renferme des lames qui ont la même position que l'autre individu (fig. 372); ces lames qu'on désigne sous le

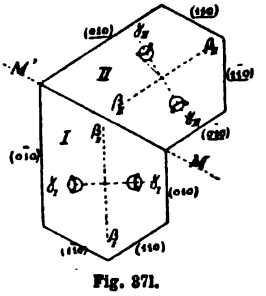


Fig. 371.

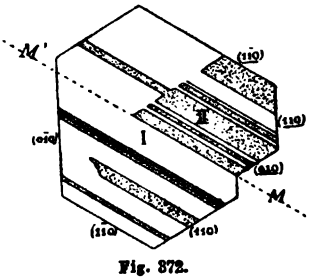


Fig. 372.

nom de *lames maclées*, peuvent être extrêmement minces, peut-être leur minceur extrême nous empêche-t-elle de les discerner, dans certains cas, même aux plus forts grossissements.

La limite entre les individus maclés apparait ordinairement sous forme de lignes droites très nettes, surtout lorsque la plaque taillée est à-peu-près perpendiculaire au plan de macle, mais on constate parfois, surtout dans les macles par pénétration, que cette limite est irrégulière.

Anomalies optiques. — Certains cristaux présentent des phénomènes optiques qui ne sont pas en rapport avec leur symétrie géométrique; on les désigne sous le nom de *cristaux optiquement anormaux.* La Vésuvienne, par exemple, possède la symétrie d'un cristal quadratique; une plaque taillée perpendiculairement à l'axe vertical devrait, par conséquent, rester éteinte en lumière parallèle entre les nicols croisés; or on constate, au contraire, que la plaque est divisée en différentes parties qui s'éteignent suivant des directions très différentes (Fig. 373, la position des nicols est indiquée par NN et N'N').

Les anomalies optiques sont dues à diverses causes; elles proviennent très

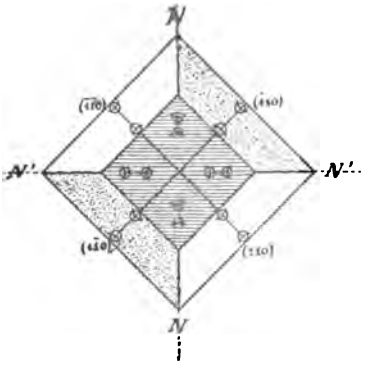


Fig. 373.

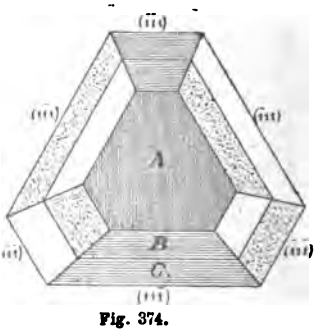


Fig. 374.

souvent de tensions au sein de la substance cristalline elle-même, et qui peuvent être produites par la pression, par un changement brusque de température, etc. Si, par exemple, on enfonce un poinçon dans un cristal de sel gemme, qui est cubique donc monoréfringent, on constate que toutes les parties environnant les gerçures produites par la pénétration de l'instrument sont devenues biréfringentes. La superposition de couches isomorphes (Voir plus loin le chapitre sur l'*Isomorphisme*) peut produire également des tensions qui se manifestent par des anomalies optiques. Les aluns qui forment une série isomorphe, sont cubiques et par conséquent isotropes; cependant un cristal composé de deux ou plusieurs couches successives de différents aluns, se montre divisé en plages biréfringentes. La figure 374 représente une coupe d'un cristal (octaèdre) de ce genre suivant la face (111); le noyau A est constitué par l'alun $(NH_4)Al(SO_4)_2 . 12\,H_2O$; et les deux couches superposées B et C sont formées respectivement d'un mélange de cet alun avec l'alun de fer $KFe(SO_4)_2 . 12H_2O$ et avec l'alun ordinaire $KAl(SO_4)_2 . 12H_2O$. Un fait caractéristique pour ce genre d'anomalies, auquel il faut rapporter également le cas de la Vésuvienne (fig. 373) c'est que la subdivision du cristal en plages biréfringentes dépend incontestablement de sa forme extérieure : les faces du cristal constituent les bases d'autant de pyramides biréfringentes dont les sommets se réunissent en son centre.

Dans certains cas les anomalies optiques peuvent être expliquées par la *Mimésie* (page 106). Une coupe d'un cristal de Phillipsite (fig. 287) ne sera pas isotrope comme on pourrait s'y attendre d'après la forme extérieure du cristal qui simule la symétrie cubique, mais se montrera divisée en douze secteurs biaxes, ce qui s'explique facilement si nous nous rappelons que ce cristal est une

macle composée de douze cristaux monocliniques. Outre la Phillipsite, plusieurs Zéolithes, la Chabasie par exemple, et d'autres minéraux encore présentent des phénomènes analogues.

Fluorescence et Phosphorescence. — On admet que dans tout corps, cristallisé ou amorphe, les molécules exécutent des vibrations dont la durée dépend de la nature des molécules et de leur température. Cela étant, voyons quelle est l'influence de ces vibrations moléculaires sur un faisceau de lumière blanche tombant sur la surface d'un corps. Comme la lumière blanche est composée d'un nombre considérable de modes vibratoires ou couleurs, il s'y trouvera, en général, un certain nombre de vibrations ayant la même durée que celles qu'exécutent les molécules du corps envisagé; ces vibrations seront absorbées, elles serviront à augmenter l'amplitude des vibrations moléculaires. Les autres vibrations, celles dont les périodes ne concordent pas avec les périodes des vibrations moléculaires, traverseront le corps et produiront en se mélangeant ce qu'on a l'habitude d'appeler la couleur propre du corp en question.

La force vive des rayons absorbés se transforme en général en chaleur obscure, ce qui se traduit par l'élévation de la température du corps; mais il y a certaines substances où l'absorption se manifeste aussi par un phénomène lumineux: le corps devient pour ainsi dire lumineux à la faveur des rayons absorbés. Si le phénomène se produit seulement pendant que le corps est exposé à la lumière, on dit que le corps est *fluorescent*. Si, au contraire, le phénomène ne se montre que quelque temps après le commencement de l'exposition du corps à la lumière et se prolonge encore après la fin de cette exposition, le corps est dit *phosphorescent*. Il est clair que la couleur de la lumière émise par un corps fluorescent ou phosphorescent ne peut pas être la même que la couleur propre du corps, car cette dernière est constituée par le mélange des couleurs non absorbées, tandis que la couleur des rayons phosphorescents ou fluorescents est produite par les rayons absorbés.

Parmi les corps fluorescents nous devons citer la Fluorine ($Ca\ Fl_2$) substance qui cristallise le plus souvent en cubes dont les arêtes sont biseautées par des tetrakishexaèdres $\{hko\}$; ce sont surtout les cristaux verdâtres du Derbyshire (Angleterre) qui montrent le phénomène avec le plus de netteté. Un tel cristal exposé à la lumière solaire émet, sur les faces frappées par les rayons lumineux, une lueur bleuâtre caractéristique. Le même phénomène s'observe plus distinctement quand on opère dans une chambre noire, avec un faisceau lumineux très intense, tel qu'on l'obtient, par exemple, par l'emploi de lentilles biconvexes. Les couches superficielles de la partie circulaire frappée par le cône lumineux prennent une couleur bleuâtre, tandis que le reste du cube garde sa couleur verdâtre.

Comme nous l'avons dit plus haut, la phosphorescence ne se distingue pas essentiellement de la fluorescence, cependant il est à remarquer que la fluores-

cence ne peut être provoquée que par l'action de la lumière, tandis que la phosphorescence peut provenir de diverses causes ; en effet elle peut être produite : *a*) par la percussion, le clivage, la rupture et le frottement; par exemple en frottant l'un contre l'autre deux fragments de Quartz dans l'obscurité; *b*) par l'insolation; certains Diamants après avoir été exposés à la lumière solaire directe ou même à la lumière diffuse du jour donnent dans l'obscurité une lumière bleue; *c*) par élévation de température; elle se manifeste surtout pour le Diamant, la Topaze, la Fluorine; cette dernière devient déjà phosphorescente par la chaleur de la main; l'Apatite présente ce phénomène lorsqu'on la porte à 100°; *d*) par l'étincelle électrique (exemples : Diamant, Saphir).

Action des Rayons X sur les minéraux. — Des expériences récentes ont démontré que les minéraux opposent au passage des rayons X une résistance qui varie dans des limites très étendues. Le Diamant et le Graphite sont, de tous les minéraux étudiés jusqu'ici à ce point de vue, ceux qui se montrent le plus parfaitement transparents pour les rayons X; la transparence du Corindon est un peu moindre quoique très grande encore; celle du Quartz, des Feldspaths et surtout de la Fluorine est plus faible; celle de la Tourmaline est très peu sensible; enfin, le Soufre, l'Epidote et le Béryl sont presqu'entièrement opaques. Ces phénomènes fournissent un moyen très simple de distinguer le Diamant des diverses imitations qui ont été faites de cette pierre précieuse, car les diamants faux sont relativement opaques aux rayons X.

3. PROPRIÉTÉS THERMIQUES.

L'étude des propriétés thermiques, c'est-à-dire des propriétés que présentent les cristaux sous l'influence de la chaleur, peut se faire à trois points de vue différents ; on peut étudier : 1° les phénomènes provoqués par la chaleur rayonnante, 2° la conductibilité calorifique et 3° la dilatation produite par une augmentation de température.

Rayonnement calorifique. — La chaleur rayonnante n'est autre chose qu'un mouvement vibratoire des molécules éthérées, mouvement qui est communiqué à ces molécules par les oscillations des molécules de la matière rayonnante. On peut conclure de là que les phénomènes thermiques produits par la chaleur rayonnante sont soumis aux mêmes lois que les phénomènes lumineux; au point de vue de la chaleur rayonnante on a donc à tenir compte de trois classes différentes de cristaux : 1° les cristaux isotropes ou monoréfringents, qui se comportent par rapport aux rayons calorifiques comme les corps amorphes; 2° les cristaux uniaxes dans lesquels les rayons calorifiques subissent la double réfraction dans toutes les directions à l'exception de celle parallèle à l'axe optique; enfin 3° les cristaux à deux axes dans lesquels la double réfraction ne se fait pas suivant deux directions, les *axes thermiques*.

On désigne sous le nom de *diathermanes* les cristaux qui laissent passer les rayons calorifiques sans absorption sensible (KCl, NaCl, ZnS); on les appelle *athermanes* quand ils absorbent une grande partie des rayons calorifiques

($AlK(SO_4)_2.12H_2O$); les cristaux qui sont diathermanes pour les vibrations calorifiques d'une certaine longueur d'onde et athermanes pour les autres, sont dits *colorés pour la chaleur*. Ajoutons qu'il n'existe aucune relation entre le pouvoir diathermane et la transparence pour la lumière (le mica noir est diathermane et l'alun de potasse athermane).

Conductibilité calorifique. — La conductibilité calorifique dans une direction déterminée peut être représentée par une droite coïncidant avec cette direction, et dont la longueur est proportionnelle à la valeur de la conductibilité; si on représente ainsi la conductibilité calorifique pour toutes les directions émanant d'un même point, on obtient une infinité de rayons dont les points extrêmes forment une certaine surface. Quand il s'agit de cristaux, cette surface est une sphère (cristaux cubiques), un ellipsoïde de révolution (cristaux hexagonaux et tétragonaux), ou enfin un ellipsoïde à trois axes (cristaux rhombiques, monocliniques et tricliniques). On voit qu'au point de vue de la conductibilité calorifique, les corps cristallisés se groupent aussi en trois classes.

Pour étudier la conductibilité calorifique sur une face de cristal, on la recouvre d'une légère couche de cire, et on la place perpendiculairement sur la pointe d'une tige d'argent dont on chauffe l'autre extrémité. La cire commence à fondre autour de la pointe, et la *courbe thermique* qui limite la partie fondue indique nettement la vitesse avec laquelle la chaleur s'est propagée. Cette courbe est un cercle pour toutes les faces des cristaux isotropes, et pour celles des cristaux uniaxes perpendiculaires à l'axe principal, ainsi que pour les faces, naturelles ou taillées, des cristaux biaxes qui sont perpendiculaires à l'un de deux axes d'orientation déterminée. Pour toutes les autres faces des cristaux n'appartenant pas au système cubique, les courbes thermiques sont des ellipses plus ou moins allongées.

Dilatation des cristaux. — Les corps solides homogènes et amorphes se dilatent en restant semblables à eux-mêmes. Les corps cristallisés, sauf les corps du système cubique, n'obéissent pas à cette loi.

1° *Cristaux cubiques.* — La dilatation est la même dans toutes les directions; il n'y a donc qu'un seul coëfficient de dilatation : λ.

2° *Cristaux tetragonaux et hexagonaux.* — Ils ont deux coëfficients de dilatation linéaire, l'un λ' suivant l'axe principal, et l'autre λ suivant toute autre direction perpendiculaire à cet axe.

3° *Cristaux rhombiques, monocliniques et tricliniques.* — Ces cristaux présentent trois coëfficients linéaires différents, λ, λ', λ'' suivant trois directions rectangulaires. Ces directions sont celles des axes cristallographiques dans le système rhombique. Elles sont quelconques et sans relations simples avec les directions des axes dans les systèmes monoclinique et triclinique; cependant pour le système monoclinique une de ces directions coïncide avec l'axe cristallographique *b* qui est perpendiculaire au plan de symétrie.

Il suit de ce qui précède que pour les cristaux cubiques la dilatation produite par la chaleur ne peut rien changer aux angles cristallographiques, puisque cette dilatation étant la même dans tous les sens, son effet revient à un simple déplacement parallèle des faces; mais il n'en est pas de même pour les autres cristaux : dans les cristaux non cubiques les angles cristallographiques changent avec la température. Il est clair, cependant, que ce changement ne peut pas être quelconque; la théorie démontre, et des recherches nombreuses ont prouvé qu'il est régi par la loi suivante : quels que soient l'élévation ou l'abaissement de la température, les indices des faces et les zones sont conservés.

Les propriétés optiques subissent également des modifications à la suite d'un changement de température; car la chaleur en modifiant les distances mutuelles des molécules, doit nécessairement influer sur l'élasticité de l'éther qui remplit les intervalles moléculaires. Mais il est clair que les modifications optiques ne peuvent, en général, porter que sur la valeur des indices de réfraction, et partant, en ce qui concerne les cristaux biaxes, sur la disposition des axes optiques.

Un exemple très caractéristique pour la démonstration des modifications en question nous est fourni par le gypse ($CaSo_4.2H_2o$); ce minéral cristallise dans le système monoclinique, le plan de ses axes optiques coïncide avec le plan de symétrie, et l'angle formé par ces axes est d'environ 57° à la température ordinaire. Quand on examine sous l'appareil de Nörrenberg, en lumière monochromatique (lumière du sodium) une plaque de gypse taillée perpendiculairement à la bissectrice aiguë, en la chauffant doucement, on constate que l'angle des axes optiques diminue constamment pour devenir nul à la température de 80°; à ce moment le gypse devient donc uniaxe, mais pour la lumière du sodium seulement. Pour des températures supérieures à 80° les deux axes apparaissent de nouveau distinctement, mais leur plan est alors normal au plan de symétrie. Quand l'échauffement n'a pas été poussé trop loin la plaque reprend ses propriétés normales en se refroidissant.

4. PROPRIÉTÉS ELECTRIQUES.

Conductibilité électrique. — Les cristaux qui conduisent le courant électrique d'une façon appréciable se distinguent, en général, des corps conducteurs ordinaires parce que leur coëfficient de conductibilité est variable avec la direction; les cristaux du système cubique se comportent comme les conducteurs amorphes. Si l'on se représente l'ensemble des directions issues d'un même point du cristal, et qu'on rapporte, à partir du point commun, sur chacune de ces directions, une distance égale ou proportionnelle au coëfficient de conductibilité électrique mesuré suivant la direction envisagée, on obtient une infinité de rayons dont les points extrêmes déterminent une sphère (cristaux cubiques), un ellipsoïde de révolution (cristaux hexagonaux et tétragonaux), ou un ellipsoïde à trois axes (cristaux rhombiques, monocliniques et tricliniques).

Thermoélectricité. — Quand on met en contact deux minéraux différents doués d'une grande conductibilité électrique et qu'on échauffe le point de contact, on peut montrer à l'aide d'un fil conducteur et d'un galvanomètre très sensible, qu'un courant électrique se développe, c'est le courant thermoélectrique (Chalcopyrite, Galène, Pyrite, etc.). Le courant se produit aussi quand on se sert de deux tiges de Pyrite, pourvu qu'elles soient taillées dans deux dodécaèdres pentagonaux de position inverse. En ce qui concerne les cristaux qui n'appartiennent pas au système cubique, on a même constaté que le courant thermoélectrique peut s'obtenir à l'aide de deux tiges taillées dans le même cristal, mais suivant des directions différentes. Ainsi, deux tiges d'antimoine cristallisé (système hexagonal) taillées l'une suivant l'axe principal et l'autre suivant une direction perpendiculaire à cet axe, peuvent servir à obtenir un courant thermoélectrique très appréciable.

Pyroélectricité. — Certains cristaux possèdent la propriété de développer de l'électricité libre à leur surface, lorsqu'on modifie leur température; la distribution de cette électricité est telle que la charge de deux points diamétralement opposés est égale mais de signe contraire, et l'on constate que les points qui sont électrisés positivement pendant l'échauffement deviennent négativement électriques pendant le refroidissement. On appelle *pôles analogues* les parties qui sont positivement électriques lorsque la température s'élève, et *pôles antilogues* les parties douées de la propriété contraire. Entre les parties chargées d'électricité il y a des plages neutres où les deux espèces d'électricité s'annulent. Il est à remarquer que le phénomène ne se présente que pendant la marche ascendante ou descendante de la température du cristal, et jamais pendant que la température reste stationnaire.

Ce sont surtout quelques cristaux hémimorphes (Tourmaline, Struvite, Calamine) et tétartoédriques (Quartz) qui offrent le phénomène avec le plus de netteté. Pour étudier la distribution de l'électricité à la surface d'un cristal, on fait usage d'un électromètre très sensible qu'on met successivement en contact avec les divers points à examiner. Mieux encore peut-on employer l'ingénieuse méthode de Kundt: à l'aide d'un soufflet spécial dont la tuyère est garnie d'un tamis en coton, on enveloppe le cristal pendant le refroidissement, d'un léger nuage d'un mélange intime de minium et de soufre; le soufre électrisé négativement par son passage au travers du tamis se dépose sur les parties du cristal qui sont positivement électriques, tandis que le minium chargé d'électricité positive n'adhère qu'aux endroits qui sont négativement électriques. Comme l'épaisseur des dépôts de soufre et de minium est à peu près porportionnelle aux quantités d'électricité positive et négative qui sont répandues sur le cristal, l'expérience ne donne pas seulement une image nette de la distribution de l'électricité, mais elle indique, en outre, la quantité d'électricité libre sur les divers points de la surface du cristal.

Le cristal de Tourmaline de la figure 171, par exemple, étudié à l'aide de la

méthode de Kundt, se couvrira de soufre à la partie supérieure et de minium à la partie inférieure, ce qui montre qu'un abaissement de température fait naître de l'électricité positive à l'extrémité supérieure et de l'électricité négative à l'extrémité inférieure du cristal (Dans la fig. 375, le minium est indiqué par un pointillé, le soufre par de petits traits contournés).

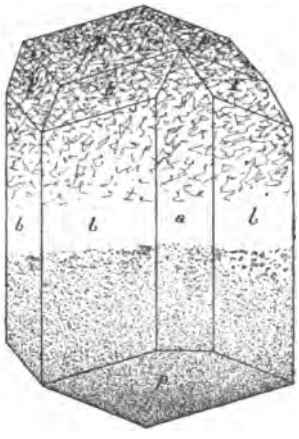


Fig. 375.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que les phénomènes pyroélectriques dépendent essentiellement, comme tous les phénomènes physiques, du degré de symétrie du cristal, et peuvent offrir par conséquent, un grand intérêt quand les autres moyens d'investigation qui servent ordinairement à la détermination de la symétrie, font défaut.

5. PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES.

Quand on suspend une tige d'une substance quelconque entre les pôles d'un puissant électroaimant, de manière à ce qu'elle puisse tourner librement autour d'un axe perpendiculaire aux lignes de force magnétique, on observe qu'elle se place parallèlement ou perpendiculairement à la droite qui passe par les deux pôles de l'aimant. Dans le premier cas la tige prend ce qu'on appelle la *position axiale*, et le corps est désigné comme *paramagnétique*, dans le second cas elle occupe la *position équatoriale* et le corps est appelé *diamagnétique*. Tous ces corps se divisent donc, au point de vue de l'induction magnétique, en deux classes : les corps *paramagnétiques* et les corps *diamagnétiques*.

Le degré de paramagnétisme ou de diamagnétisme est le même dans toutes les directions pour les substances amorphes et pour celles qui cristallisent dans le système cubique; mais il en est tout autrement en ce qui concerne les cristaux anisotropes (cristaux non cubiques): l'intensité du diamagnétisme et du paramagnétisme varie avec la direction dans ces cristaux. Un raisonnement analogue à celui que nous avons fait au sujet de la conductibilité électrique et calorifique nous montrerait qu'ici encore nous avons à distinguer trois classes principales de cristaux: les cristaux isotropes, uniaxes et biaxes.

Une sphère taillée dans un cristal cubique reste en équilibre dans toutes les positions dans le champ magnétique. — L'intensité du magnétisme dans un cristal uniaxe est soit maxima soit minima suivant l'axe optique, et respectivement minima ou maxima suivant les directions perpendiculaires à cet axe : une sphère taillée dans un cristal uniaxe n'est en équilibre que quand elle ne peut tourner qu'autour de l'axe optique. — Pour les cristaux biaxes il y a trois axes de magnétisme maximum, moyen et minimum qui sont perpendiculaires

entre eux; dans les cristaux rhombiques ils coïncident avec les axes cristallographiques. Il y a dans les substances biaxes deux directions privilégiées qui sont situées dans le plan des axes de plus grande et de plus petite induction magnétique : quand une sphère ne peut tourner qu'autour de l'une de ces deux directions elle sera en équilibre entre les pôles de l'aimant; ces axes sont appelés *axes magnétiques*.

Presque tous les minéraux qui contiennent du fer sont paramagnétiques, donc attirables à l'aimant. On utilise cette propriété pour extraire les minéraux ferrifères, d'une roche réduite en poudre. En faisant varier l'intensité du champ magnétique, on peut même opérer un triage de ces minéraux d'après leur teneur en fer.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES

DES MINÉRAUX.

Composition et Formules. — Les minéraux sont constitués par les corps simples ou éléments, et leur composition est régie par les lois de la chimie que nous supposons connues. Tous les éléments se retrouvent dans les minéraux, cependant le nombre de ces derniers doit naturellement être assez restreint; car de toutes les combinaisons que les éléments sont susceptibles de former, le règne minéral ne nous offre que celles qui sont assez stables pour n'être pas détruites par les actions chimiques dont l'écorce du globe est le siège.

La composition chimique des minéraux s'exprime par des formules qui indiquent quels sont les éléments constitutifs, et combien d'atomes de chaque élément sont représentés dans la molécule (*formules brutes*), ou par des formules dites de *constitution*, qui indiquent comment les atomes sont groupés dans la molécule. Dans certains ouvrages on se sert encore, pour exprimer la composition des minéraux, de formules où les éléments sont déjà groupés en combinaisons définies; c'est ainsi que pour la formule de l'Orthose on écrit $K_2O, Al_2O_3, 6SiO_2$, au lieu de $K_2Al_2Si_6O_{16}$. Quand deux éléments peuvent se remplacer mutuellement par isomorphisme, on groupe leurs symboles entre des parenthèses, en les séparant par des virgules. Ainsi $(K, Na)_2$ indique que deux atomes d'un radical alcalin peuvent être indifféremment fournis par le potassium ou par le sodium.

Quand par l'analyse chimique on est arrivé à connaître la nature et les proportions relatives des divers éléments d'une espèce minérale, on peut facilement établir sa formule. L'analyse d'une Chalcopyrite de Ramberg en Westphalie ayant donné :

Cu	Fe	S	SiO_2
34,40	30,47	35,87	0,27.

On divise ces nombres par leur poids atomique respectif, et l'on obtient les quotients :

$$\frac{34,40}{63,13} = 0,5445 \qquad \frac{30,47}{55,88} = 0,5454 \qquad \frac{35,87}{31,98} = 1,1218$$

Ces trois quotients expriment les rapports Cu : Fe : S, et sont entre eux, à peu de chose près, comme les nombres 1 : 1 : 2,06, ou, 1 : 1 : 2. SiO_2

doit être considéré comme une substance accidentelle, on en fait abstraction pour le calcul de la formule. On peut donc admettre que la formule de la Chalcopyrite est $FeCuS_2$.

Les formules n'expriment que des rapports de poids, aussi ne sont-elles que provisoires, et les symboles qui y figurent peuvent-ils toujours être multipliés par un même coëfficient, si les analogies d'un minéral avec un autre dont la densité de vapeur a été déterminée, conduisent à le faire, ou si l'interprétation de certaines propriétés chimiques semble l'exiger. C'est ainsi que quelques-uns écrivent pour la Chalcopyrite $Fe_2Cu_2S_4$.

Dimorphisme. — Chaque substance chimique définie dont la composition peut être exprimée par une formule déterminée, que ce soit un élément ou une combinaison, possède généralement une forme cristalline caractéristique qui lui est propre. Il y a toutefois des exceptions à cette règle, comme nous le montrent les minéraux *dimorphes* (*polymorphes*, *hétéromorphes*). Le dimorphisme est la propriété en vertu de laquelle une substance déterminée peut cristalliser sous deux ou plusieurs formes indépendantes, c'est-à-dire sous des formes qui, bien qu'appartenant parfois à un même système cristallin, présentent pour les axes des rapports paramétriques incompatibles, ou sous des formes appartenant à des systèmes cristallins distincts. Suivant le nombre de ces formes indépendantes qu'une même substance peut prendre en cristallisant, on dit qu'elle est dimorphe, trimorphe, polymorphe.

Faisons observer que les diverses modifications des substances dimorphes présentent souvent au point de vue de toutes leurs propriétés des différences saillantes. A cet égard le carbone nous offre un exemple remarquable. Il est dimorphe et l'une de ses modifications, le Diamant, est extrêmement dure (D = 10), transparente, limpide, avec éclat adamantin, et cristallise dans le système cubique, son poids spécifique est 3,5; l'autre modification, le Graphite, est noire, opaque, avec éclat métallique, sa dureté est très faible (D = 1); elle cristallise dans le système monoclinique, et son poids spécifique est 2,0. Ces deux formes du carbone ont aussi des clivages différents et se comportent différemment sous l'action des réactifs.

Voici quelques exemples de substances minérales dimorphes :

C : Cubique = Diamant (P.S. = 3,5). Monoclinique = Graphite (P.S. = 2,0),

SiO_2 : Hexagonal = Quartz (P.S. = 2,65). Rhombique (?) = Asmanite ou Tridymite (P.S. = 2,30).

TiO_2 : Quadratique = Rutile (P.S. = 4,3). Quadratique sous d'autres formes = Anatase (P.S. = 3,9) Rhombique = Brookite (P.S. = 4,1).

FeS_2 ; Cubique = Pyrite (P.S. = 5,1). Rhombique = Marcassite (P.S. = 4,7).

$CaCO_3$: Hexagonal = Calcite (P.S. = 2,7). Rhombique = Aragonite (P.S. = 2,9).

Isomorphisme. — On a donné le nom d'*isomorphisme* à la propriété d'après laquelle des substances de composition chimique semblable et possé-

dant des formes cristallines semblables ou presque identiques, peuvent cristalliser ensemble en toutes proportions. Une *série isomorphe* comprend l'ensemble des minéraux qui sont isomorphes entre eux, suivant la définition que nous venous de donner.

Il existe plusieurs séries de minéraux isomorphes; nous en énumérerons quelques-unes seulement.

Série des Spinelles. — (Cubique) — Spinelle $MgAl_2O_4$ — Magnétite $FeFe_2O_4$ — Chromite $FeCr_2O_4$ — Spinelle zincifère $ZnAl_2O_4$.

Série du Sel gemme. — (Cubique) — Sel gemme NaCl — Sylvine KCl — Kérargyrite AgCl — Salmiac NH_4Cl.

Série de la Calcite. — (Rhomboédrique) — Calcite $CaCO_3$; angle du rhomboèdre = 74°55'; Giobertite $MgCO_3$ — 72°40'; Sidérite $FeCO_3$ — 73°0'; Diallogite $MnCO_3$ — 73°9'; Smithsonite $ZnCO_3$ — 72°20'.

Série de la Barytine. — (Rhombique) — Barytine $BaSO_4$ — (110) : $(1\bar{1}0)$ = 78°70'; (011) : $(01\bar{1})$ = 74°36'; Célestine $SrSO_4$ — 75°50' et 76°; Anglésite $PbSO_4$ — 76°17' et 75°29'.

Série des Plagioclases. — (Triclinique) — Albite $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ — (110) : $(1\bar{1}0)$ = 59°13'; (001); (010) = 86°24'; (110) ; (001) = 65°18'; Anorthite $CaAl_2Si_2O_8$ — 59°30', 85°50', 65°53'.

L'isomorphisme au point de vue chimique. — A parler d'une manière générale, l'analogie chimique des substances isomorphes se traduit par le fait qu'elles renferment un nombre égal d'atomes de même atomicité, et qu'un même élément ou groupe d'éléments est représenté soit dans tous les membres de la série soit dans un certain nombre d'entre eux. Ainsi par exemple, pour la série de la Barytine, chaque membre contient un atome de soufre et quatre atomes d'oxygène; en outre la Barytine possède un atome de baryum, la Célestine un atome de strontium, l'Anglésite un atome de plomb, donc dans chaque membre il y a un atome *métallique* bivalent. Dans la formule du Spinelle, O_4 est représenté tout comme dans celle de la Magnétite; dans le premier minéral, Mg bivalent répond à Fe dans le second; de même les groupes métalliques hexavalents Al_2 et Fe_2 répondent l'un à l'autre, et on peut observer la même chose pour tous les membres de cette série.

Pour certains minéraux isomorphes l'analogie dont nous parlons n'est plus réalisée que partiellement; c'est le cas pour les Plagioclases : leur analogie chimique ne se montre que lorsqu'on double la formule de l'Anorthite et qu'on écrit : $Ca_2(Al_2)Al_2Si_4O_{16}$. Si l'on compare alors cette formule à celle de l'Albite $Na_2(Al_2)Si_6O_{16}$, Ca_2 répond à Na_2; (Al_2) à (Al_2); $Al_2 + Si_4$ à Si_6.

Enfin le nombre d'atomes peut être différent dans divers membres d'une même série, mais en ce cas on constate toujours qu'un certain nombre d'atomes (ou un groupe atomique) d'un des termes de la série est équivalent à un atome (ou à un groupe d'atomes) de l'autre terme.

Ainsi, par exemple, dans la série du Sel gemme, NaCl leS el gemme, renferme

un atome monovalent Na, qui répond dans le Salmiac NH_4Cl, au groupement monovalent NH_4 que l'on peut désigner aussi par Am — (AmCl; NaCl). De même dans la série de la Galène, deux atomes monovalents d'argent contenus dans l'Argyrose Ag_2S, correspondent à un atome bivalent de plomb dans la Galène PbS.

Les éléments qui se remplacent mutuellement dans les minéraux isomorphes sont dits *éléments isomorphes*. Nous en donnons ci-après le tableau d'après Ostwald.

Les éléments séparés par un point virgule, dans ce tableau, ne présentent qu'une isomorphie partielle.

I. Cl, B, I, Fl; Mn (dans les permanganates).
II. S, Se; Te (dans les tellurures); Cr, Mn, Te (dans les acides de la formule H_2RO_4); As, Sb (dans les sulfosels).
III. As, Sb, Bi; Te (comme élément); P, Vd (dans les sels).
IV. K. Na, Cs, Rb, Li; Tl, Ag.
V. Ca, Ba, Sr, Pb; Fe, Zn, Mn, Mg; Ni, Co, Cu; Ce, La, Di, Er, Y avec Ca; Cu, Hg avec Pb; Cd, Be, In avec Zn; Tl avec Pb,
VI. Al, Fe, Mn, Cr; Ce, U (dans les sesquioxydes).
VII. Cu, Ag (dans les composés au minimum); Au.
VIII. Pt, Ir, Pd, Rh, Ru, Os; Au, Fe, Ni, Sn, Te.
IX. C, Li, Ti, Zr, Th, Sn; Fe, Ti.
X. Ta, Nb.
XI. Mo, W, Cr.

L'isomorphisme au point de vue cristallographique. — Les formes cristallines des corps isomorphes ne sont pas absolument identiques; elles sont seulement très rapprochées les unes des autres, en ce sens que leurs faces respectives de même direction se coupent sous des angles de valeur très voisine. Dans la série rhomboédrique de la Calcite l'angle du rhomboèdre varie entre 74°55′ et 72°20′. Les angles des pyramides (111 : $1\bar{1}1$) dans la série quadratique du Rutile, oscillent entre 56°41′ et 58°20′, etc. De plus grandes différences sont rares; elles sont généralement inférieures à 5°.

Une conséquence de cette analogie des angles c'est que les rapports des axes sont presque les mêmes pour les minéraux isomorphes; ainsi pour la série de la Barytine on a

Barytine	$a : b : c = 0{,}815 : 1 : 1{,}313$
Célestine	» » » $= 0{,}779 : 1 : 1{,}280$
Anglésite	» » » $= 0{,}785 : 1 : 1{,}289$

On peut aussi citer des exemples de valeurs angulaires semblables pour des minéraux entre lesquels il n'existe aucun rapport : le Borax et l'Augite, par exemple, n'offrent aucune analogie au point de vue de la composition chimique; ce ne sont pas des isomorphes à proprement parler, mais des *isogones*. C'est le cas pour les corps du système cubique; les isomorphes de ce système offrent l'uniformité de valeur angulaire; ce fait ne repose pas sur l'isomorphisme mais découle du caractère même de ce système cristallin; en effet les cristaux non isomorphes du système cubique présentent la même identité au point de vue de la valeur des angles.

L'isomorphisme au point de vue physique. — Si l'on compare les propriétés physiques des minéraux d'une série isomorphe, on observe de grandes analogies entre les divers membres, comme on pourra le voir par les exemples suivants.

Les carbonates isomorphes du système rhombique présentent souvent les faces $m = (110)$, $b = (010)$, $k = (011)$ et $u = (012)$ qui forment entre elles des angles très voisins et qui donnent les directions des clivages, comme l'indique le tableau suivant :

		(110) : (110)	(011) : (0$\bar{1}$1)	Clivages :		
Aragonite	$CaCO_3$	63°50′	71°34′	*b*,	imparfait	*m*, *k*.
Strontianite	$SrCO_3$	62°41′	71°48′	*m*,	»	*u*, *b*
Cérusite	$PbCO_3$	62°46′	71°44′	*m*, *u*,	»	*b*, *k*
Withérite	$BaCO_3$	62°12′	72°16′	*b*,	»	*m*, *u*

Ces minéraux sont donc semblables, non seulement sous le rapport de la forme, mais sous celui du clivage.

Il en est de même pour les propriétés optiques; ils sont tous négatifs, et pour tous la bissectrice α est parallèle à l'axe vertical. Il y a toutefois une différence quant au plan des axes optiques: pour l'Aragonite et la Strontianite ce plan est parallèle à (100); pour la Cérusite et la Withérite il est parallèle à (010); en outre pour les deux premiers membres de la série on a $\rho < \upsilon$, tandis que pour la Cérusite et la Withérite on trouve $\rho > \upsilon$.

Tous les membres de la série des carbonates rhomboédriques ont le clivage parallèle à R et tous sont négatifs au point de vue optique.

Croissance isomorphe. — Lorsqu'on maintient un cristal dans une solution d'une substance isomorphe ; il s'y accroît comme s'il était dans la solution de sa propre substance; des couches de la substance isomorphe se déposent à sa surface de manière à ce que le cristal primitif est bientôt enveloppé de toutes parts; ces couches ont la même orientation que celles du cristal primitif ou noyau. Toutefois certaines faces pourraient n'être pas parfaitement parallèles à celles de ce noyau, parceque, comme nous l'avons dit, les angles des substances isomorphes ne doivent pas être identiques, mais seulement très voisins. On ne constate ce mode de cristallisation que pour les substances qui sont isomorphes.

On peut souvent observer sur des cristaux naturels ces couches isomorphes superposées. (Cristaux de Giobertite avec zone enveloppante de Calcite; Epidote aluminifère et Epidote ferrifère; Epidote et Orthite; Tourmaline avec couches de différentes couleurs.)

Mélanges isomorphes. — Lorsque deux ou plusieurs substances isomorphes, par exemple l'Alun de chrome et l'Alun ordinaire, se trouvent dans une même solution, les cristaux qui s'y forment renferment les deux substances isomorphes, mais dans ce cas ce n'est pas un mélange mécanique ; les cristaux sont parfaitement homogènes, l'union des deux substances s'est faite dans la molécule même; ces cristaux sont constitués par des *mélanges isomorphes.*

On n'observe rien de semblable lorsque des substances non isomorphes sont

dissoutes dans la même solution, par exemple NaCl et $NaNO_3$; il s'y développe des cristaux distincts des deux substances.

Ce qui caractérise les mélanges isomorphes au point de vue chimique, c'est que les substances qui les forment peuvent être représentées suivant des proportions extrêmement variables. Quelquefois cependant les mélanges se font suivant un rapport déterminé. Dans la Dolomie, par exemple, les deux substances $CaCO_3$ et $MgCO_3$ sont fréquemment représentées chacune par le même nombre de molécules.

Les mélanges isomorphes sont très fréquents dans les minéraux, et on ne peut comprendre la composition d'un grand nombre de substances minérales qu'en admettant qu'elles sont constituées par ces mélanges. Ainsi il existe des minéraux parfaitement homogènes, cristallisés en rhomboèdres, qui renferment CaO, MgO, FeO, MnO et CO_2, et dont la teneur pour chacun de ces éléments est variable d'un échantillon à l'autre; on peut démontrer que ce sont des mélanges isomorphes de $CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$, etc.

Les substances isomorphes qui entrent dans la composition des mélanges dont il est ici question, sont bien souvent inconnues dans la nature à l'état isolé; mais on peut constater leurs présence dans le mélange par le calcul de l'analyse.

La *forme cristalline* des mélanges isomorphes est identique ou assez voisine pour les substances qui constituent les mélanges. Fréquemment l'angle du cristal est compris entre les angles respectifs de ces substances; par exemple, l'angle du rhomboèdre de Dolomie ($CaCO_3 + MgCO_3$) = 73°,45′, angle qui est compris entre celui de la Calcite (74°,55′) et celui de la Giobertite (72°,40′). Quelquefois l'angle des mélanges varie proportionnellement à la teneur en chaque substance du mélange; par exemple, dans la série de la Calcite. Cependant ces modifications de la valeur angulaire sont souvent irrégulières, et ne sont pas comprises dans les limites des valeurs angulaires des substances isomorphes constitutives.

Quant aux *propriétés physiques* des cristaux de mélanges isomorphes, elles sont fréquemment comprises dans les limites entre lesquelles sont renfermées ces mêmes propriétés pour les substances isomorphes formant le mélange. Les clivages répondent souvent à ceux des substances constitutives, comme on le constate dans la série de la Calcite. Les propriétés optiques sont analogues à celles des substances constitutives, lorsque pour ces mêmes substances ces propriétés présentent de l'analogie : les mélanges isomorphes de la série de la Calcite sont tous négatifs comme toutes les substances isomorphes de cette série.

Si les substances constitutives possèdent des propriétés qui les différencient, on observe souvent pour les mélanges que les propriétés optiques, par exemple, se rapprochent d'autant plus de celles d'un des membres extrêmes de la série que celui-ci est représenté en plus forte proportion dans le mélange; ces propriétés nous montrent des transitions graduelles qui, partant d'un terme extrême, passent par tous les intermédiaires jusqu'à l'autre terme. On peut établir ce fait en constatant les variations de la grandeur de l'angle des axes optiques, et de la position de ces axes par rapport aux formes externes.

× **Isodimorphisme.** — Lorsqu'une substance dimorphe possède les deux formes différentes A et B, et une autre substance également dimorphe les

deux formes A′ et B′, et que A est isomorphe avec A′ et B avec B′ on dit que les deux substances sont *isodimorphes*; exemple :

$NaNO_3$	Nitratine (rhomboédrique) isomorphe avec la modification rhomboédrique de.	KNO_3
	Modification rhombique isomorphe avec le Nitre, modification rhombique de	

Analyse des minéraux.—Nous nous occuperons uniquement des principales recherches que l'on peut faire par *la voie sèche*; l'étude de la *voie humide* est du ressort de la chimie et fait l'objet de traités spéciaux.

Fusibilité. — Le premier essai qu'il convient de faire est celui de la fusibilité; on expose une esquille mince du minéral à l'action de la flamme d'un brûleur de Bunsen, en la mettant en contact avec le bord bleu de cette flamme; on peut aussi faire usage d'une lampe à huile, d'une lampe à alcool, ou d'une bougie dont on active la flamme à l'aide du chalumeau; lorsque le minéral en expérience est peu fusible, le moyen le plus commode consiste à employer le chalumeau à gaz. Le minéral est tenu à l'aide d'une pince à machoires de platine, ou d'un fil de platine dont on a recourbé l'extrémité en forme de boucle. Le platine contractant des alliages avec plusieurs métaux, il faut employer comme support le charbon de bois ou des fibres minces d'Asbeste, lorsque le minéral possède l'éclat métallique.

Von Kobell a dressé une *Echelle de fusibilité* comprenant sept termes, et dans laquelle les minéraux sont rangés suivant l'ordre inverse de leur fusibilité respective.

1. *Stibine.* — Fond à la flamme d'une bougie, sans emploi du chalumeau.
2. *Mésotype fibreuse.* — Facilement fusible en boule au chalumeau.
3. *Grenat almandin.* — Fond au chalumeau mais moins facilement.
4. *Actinolite du Zillerthal.* — Une esquille mince fond au chalumeau en s'arrondissant.
5. *Orthose.* — Les extrémités fines des fragments fondent seules.
6. *Bronzite.* — Ne montre que des traces de fusion sur les esquilles les plus minces.
7. *Quartz.* — Infusible.

Coloration de la flamme. — Certaines substances ont la propriété de colorer les flammes incolores, par exemple celle du bec de Bunsen, et nous fournissent ainsi un moyen de déterminer très rapidement leur présence dans les minéraux. Pour faire cette expérience il faut placer une esquille du minéral dans le cône extérieur bleu, près de l'extrémité de la flamme réductrice.

Le tableau suivant donne les colorations les plus caractéristiques que l'on obtient par ce moyen.

Potassium	Violet pâle	Arsenic	Bleu livide pâle
Sodium	Jaune	Antimoine	» » »
Lithium	Rouge cramoisi	Phosphore	Vert jaunâtre un peu livide
Baryum	Vert jaunâtre livide	Plomb	Bleu d'azur
Strontium	Rouge carmin	Chlorure de cuivre	Bleu pourpré
Calcium	Rouge orangé	Autres composés de cuivre	Vert
Sélénium	Bleu d'azur	Chlorure mercureux	Violet vif
Tellure	Bleu verdâtre	Sels ammoniacaux	Violet bleuâtre
Bore	Vert et Vert jaunâtre		

Essais dans le tube fermé. — Un petit fragment du minéral est introduit dans un tube fermé à l'une de ses extrémités, et soumis à l'action de la chaleur d'une lampe à alcool ou d'un bec de Bunsen que l'on active à l'aide du chalumeau, s'il y a lieu. Divers phénomènes peuvent se produire, et il faut constater si le minéral décrépite, change de couleur, se désagrège, se boursoufle ou fond, s'il devient incandescent ou phosphorescent. Lorsque le minéral contient de l'eau elle se dégage et se condense en gouttelettes sur les parties froides du tube. Il faut s'assurer, par son action sur le papier de tournesol, si cette eau est alcaline, neutre ou acide.

Il importe aussi de constater s'il se dégage des gaz et quelle est leur nature, ce qu'on peut reconnaître ordinairement à l'odeur ou à la couleur.

Ce traitement provoque, pour plusieurs minéraux, la production de sublimés dans la partie froide du tube; la nature de ces dépôts fournit souvent des indications précieuses pour la détermination du minéral en expérience.

Essais dans le tube ouvert. — Ils ont pour but de *griller* le minéral, c'est-à-dire de le soumettre à l'action simultanée de la chaleur et d'un courant d'air. Les produits d'oxydation qui prennent naissance par ce traitement sont généralement doués de propriétés caractéristiques propres à faire reconnaître le minéral : les sulfures, les arséniures et les séléniures produisent en s'oxydant des anhydrides dont l'odeur décèle immédiatement la nature; les antimoniures donnent un sublimé blanc que l'on peut faire cheminer dans le tube par l'application de la chaleur; les composés du bismuth et ceux du tellure donnent un sublimé fusible en gouttelettes, etc.

Essais sur le charbon. — On place la matière d'essai dans une fossette creusée dans un morceau de charbon de bois bien homogène, et on la chauffe à l'aide du chalumeau. Cette opération a des effets assez variés d'après la nature du minéral en expérience. La matière d'essai peut fondre avec ou sans bouillonnement, elle peut décrépiter, fuser ou déflagrer; dans certains cas la substance fondue est absorbée par les pores du charbon et disparaît; d'autres fois elle dégage de l'eau, des gaz ou des vapeurs, et ces dernières se déposent parfois sur le charbon à l'état d'aréoles diversement colorées, et dont quelques-unes se volatilisent lorsqu'on chauffe la partie du charbon où

elles se sont formées. La production des aréoles est souvent simultanée à la réduction du minéral à l'état d'un bouton métallique qui peut être cassant ou malléable.

On fait usage de divers *réactifs* dans les recherches par la voie sèche; les principaux d'entre eux sont le bisulfate de potasse, le carbonate de soude, le borax et le sel de phosphore.

Le *sulfate acide* ou *bisulfate de potassium* représente en quelque sorte de l'acide sulfurique à l'état solide, et agit comme tel; il est généralement employé dans le tube fermé, et fait reconnaître en les expulsant de leurs combinaisons, le brôme, l'iode, le fluor et l'acide borique; il décompose aussi les sulfures, les tungstates et les titanates dont l'élément générique peut alors être reconnu par ses caractères propres.

Le *carbonate de soude* est à la fois un fondant et un agent réducteur, il facilite beaucoup la réduction de divers éléments sur le charbon, mais son principal usage est de faire reconnaître la présence du soufre; à cet effet la matière d'essai, additionnée de 2 à 5 parties de soude, est fondue sur le charbon au feu de réduction; si le minéral contient du soufre la masse fondue prend une teinte brun-rougeâtre rappelant celle du foie, et qui lui a fait donner le nom d'*hépar*; elle est souvent absorbée par le charbon, qu'il faut alors gratter avec un couteau; la poussière obtenue par ce grattage, ou l'*hépar* demeuré sur le charbon produisent des taches brunes lorsqu'on les applique sur un morceau de papier imbibé d'une solution d'acétate de plomb, ou sur un objet d'argent préalablement mouillé d'eau.

Le *Borax* est employé comme fondant, son usage est basé sur la propriété que possède l'acide borique, dont il contient un excès, de former des sels colorés en se combinant à divers métaux.

Quand on opère avec ce réactif on replie en boucle l'extrémité d'un fil de platine, et on la mouille d'un peu d'eau distillée ou on la chauffe au rouge; on y fait adhérer ainsi une quantité convenable de Borax que l'on chauffe doucement d'abord et plus fortement ensuite, jusqu'à ce qu'on ait obtenu une perle limpide et homogène; on introduit dans cette perle encore fortement échauffée quelques grains de la matière d'essai réduite en poudre, et on chauffe de nouveau jusqu'à ce que la dissolution de la matière d'essai dans la perle soit complète. Pour certains corps la perle reste limpide, mais pour d'autres éléments elle prend une coloration spéciale à chacun d'eux et qui, dans certains cas, varie en outre suivant que l'on a chauffé dans la flamme oxydante ou dans la flamme réductrice. Quand on a opéré sur une quantité de matière d'essai trop considérable la teinte de la perle est trop foncée pour pouvoir être reconnue; il faut alors aplatir au marteau la perle fondue, ou y ajouter du Borax.

Il ne faut opérer que sur des éléments oxydés; les sulfures, les antimoniures, etc. doivent être préalablement grillés, car sans cette précaution le fil de platine serait attaqué.

Au lieu du fil de platine on peut employer comme support une *coupelle de Lebaillif*; petite coupelle faite d'un mélange de terre de pipe et de Kaolin.

Dans certains cas la perle limpide devient d'un blanc d'émail par l'opération du *flamber*, qui consiste à la chauffer d'une manière intermittente à l'extrémité du

dard du chalumeau. Ce cas se présente pour les oxydes de Calcium, de Baryum, de Strontium, de Zirconium, de Glucinium, de Cerium, de Tantale, de Titane lorsqu'ils ne sont pas à l'état de silicates.

Le *Sel de phosphore* (PO_4HNaNH_4) s'emploie de la même manière que le Borax et pour le même usage; il sert en outre à reconnaître les silicates qu'il décompose en mettant la silice en liberté, sous forme d'une matière blanche et opaque, bien visible à l'intérieur de la perle (*squelette de silice*).

Quelques réactifs moins importants sont encore employés dans les recherches par la voie sèche. La *Fluorine* pulvérisée et mélangée de bisulfate de potasse, sert à décéler la présence de l'acide borique dans les borates, par la coloration verte qu'il communique à la flamme sous l'influence de ce traitement. L'*étain métallique*, le *cyanure de potassium* et l'*oxalate neutre* du même métal sont employés comme agents réducteurs. Le *Nitre* sert d'agent oxydant, notamment dans la recherche du manganèse ou du chrome. Diverses substances réduites en poudre et imbibées d'une solution de *nitrate de cobalt*, donnent des scories colorées quand on les chauffe sur le charbon; la scorie est verte pour le zinc, bleue pour l'alumine, rose-grisâtre pour la magnésie, etc.

Détermination des minéraux par les réactions microchimiques. — D'après ce procédé on met en présence de divers réactifs des particules très-petites des minéraux à examiner, et par évaporation lente du dissolvant il se produit des cristallisations caractéristiques. On fait ces observations sous l'objectif même du microscope.

Boricky, qui le premier, en 1877, appliqua cette méthode à la détermination des minéraux, employait exclusivement l'*acide fluosilicique* et étudiait la forme des fluosilicates qui se produisaient après une attaque plus ou moins prolongée des grains de minéraux ou des plaques minces. On opère sur des verres soigneusement enduits de baume de Canada; le baume résistant à l'attaque et protégeant le verre contre l'acide. Le fragment ou une plaque mince du minéral, une fois fixé sur le porte-objet au moyen de baume, est recouvert d'une goutte bien convexe

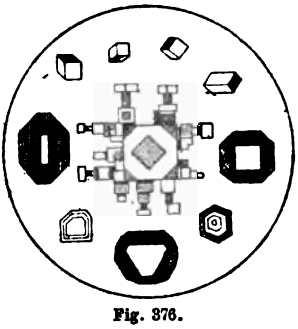


Fig. 376.

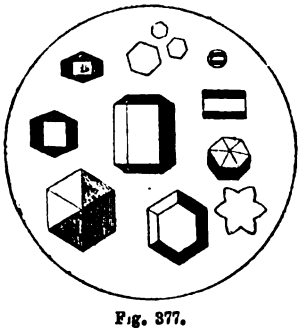


Fig. 377.

du réactif; on laisse cette préparation pendant quelques heures sous une cloche à air humide, puis on la porte sous une cloche à air sec, et on attend que la concentration de la liqueur ait amené la cristallisation des fluosilicates. Il convient d'opérer à une température de 15° environ.

Voici les formes des principaux fluosilicates cristallisés qu'on peut observer

dans ces réactions. Le sel de potasse est cubique (fig. 376), celui de soude donne des prismes hexagonaux (fig. 377).

La magnésie, le fer et le manganèse donnent des rhomboèdres identiques d'aspect (fig. 378); on peut séparer les cristaux magnésiens, ferrifères et manganèsifères par l'action du chlore gazeux ou du sulfhydrate d'ammoniaque. Le fluosilicate de magnésie ne change pas d'aspect sous l'action du chlore gazeux, les cristaux ferrugineux se colorent en jaune citron, et les manganèsifères en brun rougeâtre; le sulfhydrate d'ammoniaque rend les premiers noirs, et les seconds gris rougeâtre.

Fig. 378.

L'ordre de solubilité a une influence prépondérante sur la succession des dépôts cristallins qui s'opèrent; d'abord apparaissent les cristaux de fluosilicate de potasse, puis les prismes du fluosilicate de soude; le sel de chaux est relativement soluble, il imprègne les premiers, et la silice gélatineuse qui résulte de l'attaque de certains minéraux; enfin le sel de magnésie est presque déliquescent.

On peut aussi traiter la substance par l'*acide sulfurique* concentré; on opère dans une petite éprouvette et on observe les sulfates qui cristallisent de la solution. D'autres méthodes encore sont en usage; les réactions microchimiques qui suivent donneront des exemples de ce mode d'investigation.

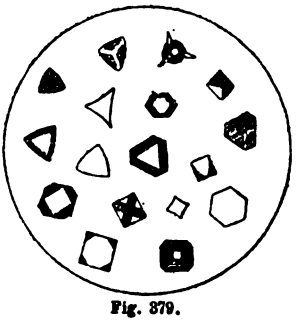


Fig. 379.

Argent. — Les sels d'argent donnent avec l'acide chlorhydrique un précipité amorphe qui se dissout à chaud dans un excès du même réactif; par refroidissement il se dépose des petits cristaux du système cubique, généralement octaédriques, de chlorure d'argent (AgCl); ils sont souvent groupés par trois ou par quatre. On peut faire la même réaction en dissolvant dans l'ammoniaque le précipité obtenu par l'acide chlorhydrique, et en laissant évaporer cette solution. Les cristaux que l'on obtient alors sont surtout des cubes, des octaèdres, des cubo-octaèdres, rarement on voit les faces du rhombododécaèdre (fig. 379). Le chlorure mercurique et le molybdate d'ammonium entravent la réaction; le chlorure stannique l'empêche totalement.

Fig. 380.

Aluminium. — En traitant une solution de sulfate d'aluminium, neutre ou faiblement acide, par le chlorure ou par le bisulfate de césium en solution concentrée, il se forme des petits cristaux d'alun de césium ($Al_2S_3O_{12} + Cs_2SO_4 + 24H_2O$), sol. 1 : 200 (fig. 280); ce sont des octaèdres incolores, souvent déformés par développement anormal de deux faces d'octaèdre, ou des octaèdres combinés

avec le cube. Lorsque la solution est trop concentrée on obtient une cristallisation en dendrites (fig. 380). Pour éviter ces arborisations il suffit de diluer en ajoutant une gouttelette d'eau. Ces cristaux se développent mieux et apparaissent plus vite lorsqu'on opère à l'aide de solutions faiblement acides.

Baryum. — Le sulfate de baryum ($BaSO_4$) se dissout dans l'acide sulfurique chaud et cristallise de cette solution par évaporation et refroidissement, en tablettes rectangulaires et en cristallites en forme d'X appartenant au système rhombique.

Calcium. — Si l'on traite par l'acide sulfurique une solution diluée d'un sel de calcium, on voit se former sur le porte-objet, des cristaux aciculaires, quelquefois isolés, généralement radiés ou en gerbes. Ces cristaux, d'une finesse extrême, sont très allongés, parfaitement incolores, à extinction oblique, et doivent se rapporter au Gypse ($CaSO_4 + H_2O$), sol. 1 : 450. La formation de ces petits prismes de Gypse est incontestablement la réaction la plus caractéristique du calcium, car leur forme et l'ensemble de leurs propriétés les rendent facilement reconnaissables à l'œil le moins exercé (fig. 381). De grandes quantités de sels alcalins nuisent à la réaction; le chlorure d'aluminium, les chlorures chromique et ferrique la ralentissent beaucoup.

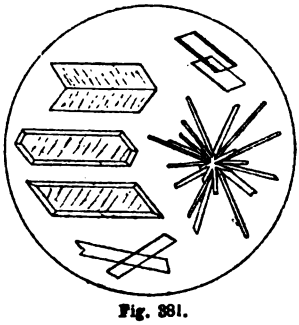


Fig. 381.

Strontium. — Le sulfate de strontium ($SrSO_4$) dissous dans l'acide sulfurique concentré et chaud, s'en sépare sous forme de rhombes ou cristallites cruciformes, ayant une grandeur quadruple des formations cristallines correspondantes du sulfate de baryum. La réaction est très caractéristique pour le strontium, parce que d'un mélange à parties égales de sulfates de baryum et de strontium, on obtient exclusivement des cristaux présentant l'aspect cristallin de ce dernier sel.

Cobalt. — Si l'on ajoute du nitrite de potassium et de l'acide acétique à une solution d'un sel de cobalt et qu'on élève la température de la préparation, il se forme lors du refroidissement, de petits cristaux de nitrite de cobalt et de potassium ($K_6Co_2N_{12}O_{24} + 3H_2O$). Ces cristaux microscopiques, de couleur jaune, peuvent se présenter comme des granules à angles peu nets ou se montrer sous la forme cubique ou octaédrique, d'ordinaire ils s'offrent en squelettes de cristaux du système cubique (fig. 382).

Fig. 382.

Nickel. — Par addition d'azotite de potassium, puis d'acétate de plomb à un sel de Nickel en solution ammoniacale, on obtient un précipité blanc épais de sous-sels plombiques; si alors on met une gouttelette d'acide acétique en contact avec ce précipité, le Nickel se sépare sous la forme du composé $2NO_2K.(NO_2)_2Ni.(NO_2)_2Pb$, offrant l'aspect d'une poudre jaune qui se dépose en partie sur le sel de plomb. On favorise la réaction en chauffant doucement.

Manganèse. — Dans les solutions de manganèse contenant un peu d'acide acétique, l'acide oxalique précipite des étoiles caractéristiques formées par le croisement de trois baguettes incolores, dont chacune a pris naissance par la soudure de deux prismes allongés, terminés par une base inclinée sous un angle de 60°. L'axe de ces prismes coïncide avec la direction de l'extinction en lumière polarisée (fig. 383*a*). La sensibilité de cette réaction est triplée si l'on opère en présence d'un excès d'ammoniaque.

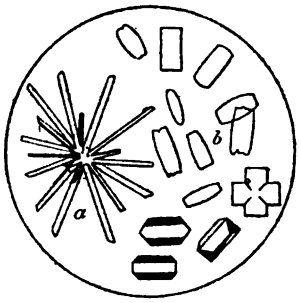


Fig. 383.

En présence d'une grande quantité de zinc de nickel et de cobalt, la formation de ces agrégats étoilés se trouve entravée. Des acides forts empêchent la précipitation par l'acide oxalique.

Fer. — Le précipité bleu, granuleux ou floconneux, que donnent les sels ferriques par le ferrocyanure de potassium est la réaction la plus sensible et la plus caractéristique pour déceler ce corps. Les solutions de sels ferreux traitées par l'acide oxalique donnent, même en présence de l'acide chlorhydrique, un précipité d'oxalate de protoxyde de fer ($FeC_2O_4 + 2H_2O$, sol. 1 : 3800). Il apparaît au microscope sous la forme de petits prismes, vert-jaunâtre pâle; ils sont terminés par des dômes et se montrent d'ordinaire comme des tables rectangulaires, dont les arêtes allongées sont souvent bombées; on observe aussi des macles en croix. Ces cristaux sont du système rhombique, ils polarisent vivement la lumière et éteignent en long (fig. 383*b*).

Potassium. — Une solution neutre ou faiblement acide d'un sel de potassium, évaporée sous le microscope, montre bientôt aux bords de la goutte, après addition de chlorure de platine au 1/10°, des cristaux octaédriques assez petits et nettement terminés de chloroplatinate de potassium (K_2PtCl_6), sol. 1 : 100. Leur forme générale est celle de l'octaèdre, mais ils offrent presque toujours un développement plus grand de deux faces octaédriques parallèles. C'est sur l'une de ces faces que les cristaux sont couchés. Dans certains cas ils sont groupés par trois et affectent une disposition trifoliée, ou par quatre, disposés en croix. Un caractère très net des cristaux de chloroplatinate de potassium se trouve dans leur coloration : elle est jaune intense. Ces cristaux sont limpides, leur indice de réfraction est très élevé, ce qui fait apparaître leurs contours soulignés par de fortes ombres (fig. 384). Un excès d'acide sulfurique entrave la réaction; elle n'est décisive que lorsqu'il n'y a pas d'ammonium, de rubidium ou de césium en présence.

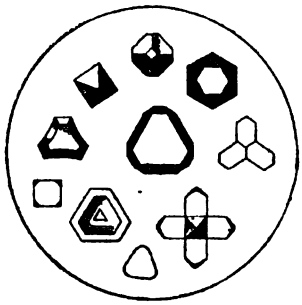


Fig. 384.

Sodium. — Si l'on ajoute un granule d'un sel quelconque de sodium (chlorure, sulfate, nitrate, etc.) à une gouttelette d'une solution concentrée d'acétate d'uranyle, il se forme immédiatement sur le porte-objet des cristaux microscopiques d'un sel double d'acétate d'uranyle et de sodium ($NaC_2H_3O_2 + UO_2C_4H_6O_4$), (fig. 385*a* — les cristaux *b* sont de l'acétate d'uranyle). Ces cristaux sont nom-

breux et très nets; le tétraèdre est leur forme principale. Lorsqu'on suit l'accroissement sous le microscope on voit souvent un second tétraèdre s'ajouter au premier, faisant passer ainsi le cristal à la forme octaédrique. On observe aussi des macles par pénétration de deux tétraèdres suivant une face de tétraèdre.

Si l'on se sert d'une solution de sodium il faut l'évaporer à sec, ou tout au moins la concentrer ortement, parceque la réaction est à peine sensible pour une liqueur diluée au 1/50e.

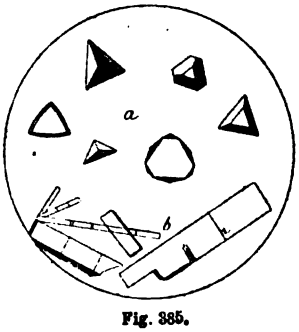


Fig. 385.

Magnésium. — A la solution du sel de magnésium on ajoute du chlorure d'ammonium; on place une goutte de ce mélange sur le porte-objet, et on dépose à côté d'elle une gouttelette de phosphate de sodium préalablement additionné d'ammoniaque; on porte la préparation à 100°, on réunit les deux gouttelettes et on laisse refroidir lentement. De cette manière, si la solution est assez diluée, on obtient des cristaux bien développés de phosphate ammoniaco-magnésien ($MgNH_4PO_4 + 6H_2O$, sol. 1 : 15,000). Ces cristaux appartiennent au système rhombique, et apparaissent sous la forme de toit. Quelquefois ils sont échancrés symétriquement aux quatre côtés et sur la face pinacoïdale; on les voit passer par cette transition à des formes en squelettes. Les solutions concentrées donnent immédiatement des cristaux généralement imparfaits. Ils se montrent d'abord sous la forme de charpentes échancrées profondément aux deux extrémités, et paraissent être des macles de cristaux hémimorphes (fig. 386).

Fig. 386.

Quelquefois la réaction ne réussit pas parceque le liquide ne contient pas une quantité suffisante de sels ammoniacaux.

Lithium. — La précipitation par le carbonate d'ammonium est préférable à celle qu'on pourrait provoquer par d'autres carbonates. Dans les solutions diluées, la formation des cristaux ne commence que pendant l'évaporation. D'autre part, les fines aiguilles et les prismes du carbonate de lithium ressemblent un peu au sulfate d'ammonium, mais on les distingue très aisément par addition d'eau : en effet, le sulfate d'ammonium s'y dissout de suite et le carbonate de lithium, au contraire, très-lentement.

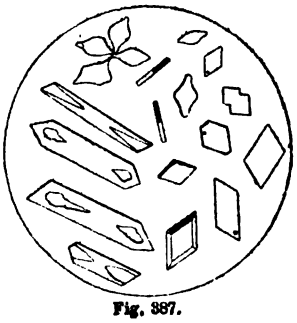


Fig. 387.

Plomb. — Les solutions diluées des sels de plomb donnent avec l'acide chlorhydrique un précipité cristallin de chlorure de plomb ($PbCl_2$, sol. 1 : 135). Il est formé de prismes aplatis à contours nets, agissant fortement sur la lumière polarisée et éteignant en long. Souvent ces cristaux ont des indentations profondes, triangulaires, dont les sommets aigus se

rencontrent près du centre; souvent aussi ces squelettes se complètent par adjonction aux extrémités d'une ou de deux faces inclinées. Dans certains cas on observe aussi le chlorure de plomb sous la forme de tables rhombiques plus ou moins développées, et qui éteignent suivant les diagonales (fig. 387).

Etain. — Le chlorure stannique traité par le chlorure de césium donne, même en présence d'un grand excès d'acide chlorhydrique, les cristaux caractéristiques du chlorostannate de césium (Cs_2SnCl_6). Le chlorure de fer donne à ces cristaux une coloration jaunâtre qui persiste même après lavages réitérés.

Les solutions stanneuses neutres ou faiblement acides, donnent avec l'acide oxalique ou l'oxalate d'ammonium un précipité cristallin d'oxalate stanneux (SnC_2O_4). Ces cristaux sont d'ordinaire en squelettes, mais leur structure les fait reconnaître facilement. Les plus petits sont des dômes allongés à contours trapèzoïdaux; quelquefois ils affectent l'aspect de rhomboèdres et sont groupés en agrégats étoilés. Les formes allongées sont souvent échancrées aux extrémités; elles prennent une disposition en sablier plus ou moins accusée, et servent de transition aux squelettes de cristaux. Tous ces cristaux sont très réfringents et réagissent vivement en lumière polarisée; ils sont souvent maclés; les prismes éteignent à 14° ou 15° des arêtes allongées.

Zinc. — Dans les solutions acides contenant du cadmium et du zinc, le bicarbonate de sodium précipite d'abord le cadmium sous la forme de globules fortement réfringents; bientôt après, on voit apparaître un trouble floconneux de carbonate de zinc qui s'éclaircit par addition d'un excès de bicarbonate de sodium, et se transforme en un amas de cristaux tétraédriques d'un carbonate sodico-zincique ($8CO_5Na_2.\ 8CO_5Zn, 8H_2O$). Ces cristaux adhèrent fortement au verre. Le carbonate potassique produit des tétraèdres plus volumineux, ayant une tendance plus marquée à former des macles; le carbonate de lithium donne lieu à la formation de cristaux encore plus grands. Les sels d'ammonium entravent la réaction.

Cuivre. — On met la goutte d'essai dans laquelle on recherche le cuivre dans une goutte d'une solution concentrée d'azotite de potassium, on ajoute un excès d'acide acétique, puis un granule d'acétate de plomb. Autour du sel plombique la liqueur se colore en jaune, puis se trouble, et dans l'espace d'une ou deux minutes, dépose des cubes à contours très accentués. Lorsque les lames de ceux-ci sont très minces elles laissent passer une lumière orangée ou brune, mais les cristaux de plus de 3μ d'épaisseur paraissent noirs. Ce sel, dont la composition peut être représentée par la formule $2NO_2K.(NO_2)_2Pb.(NO_2)_2Cu$, se dissout partiellement à chaud dans son eau-mère, pourvu que l'azotite soit en excès, et recristallise pendant le refroidissement sous forme d'octaèdres noirs brillants.

Titane. — On fond la matière d'essai avec du fluorure de sodium et on dissout dans l'acide chlorhydrique la masse ainsi obtenue. A la solution acide de fluotitanate de sodium on ajoute du chlorure de potassium, le sel potassique correspondant se sépare très lentement des solutions diluées, sous la forme de rectangles, souvent tronqués sur les angles, ou de lamelles hexagonales oblongues; ces cristaux sont minces et peu réfringents. Les données en question se rapportent à la précipitation dans des solutions acidulées.

Zirconium. — Les solutions de sulfate ou de chlorure de zirconium donnent par

l'oxalate acide de potassium, un précipité formé par des octaèdres incolores, appartenant probablement au système quadratique, constitués par un oxalate potassico-zirconique de la formule $2C_2O_4K_2.(C_2O_4)_2\ Zr.4H_2O$. Quand on veut décomposer le Zircon, en vue de la réaction qui vient d'être décrite, on suit le procédé indiqué pour le titane, page 178.

Bismuth. — L'oxalate acide de potassium fait naître dans les solutions des sels de bismuth un précipité blanc d'oxalate de bismuth $(C_2O_4)_5Bi_2.15H_2O$. Si l'on élève la température le précipité se redissout en partie, et pendant le refroidissement un oxalate bismuthico-potassique cristallise sous la forme d'octaèdres quadratiques fortement réfringents qu'on pourrait aisément confondre avec des cristaux d'oxalate de calcium.

Antimoine. — Les composés d'antimoine dissous dans l'acide chlorhydrique étendu, donnent avec le chlorure de césium un chlorure double de césium et d'antimoine répondant à la formule $SbCl_5.\ 2CsCl_2.\ 5H_2O$, et qui se présente en minces lamelles hexagonales. Si l'on ajoute de l'iodure de potassium la sensibilité devient deux fois plus grande, et l'on obtient des lamelles d'une couleur orangée très vive.

Phosphore. — Une solution d'acide phosphorique additionnée d'acide nitrique, traitée par le molybdate de potassium, donne un précipité cristallin de phosphomolybdate de potassium.

Carbone. — On peut précipiter l'acide carbonique par les sels calciques dans les solutions des carbonates solubles; le précipité formé d'abord d'une poudre très fine, se transforme bientôt en petits rhomboèdres bien définis. Le carbonate de plomb ($PbCO_5$) forme des cristaux plus volumineux. Pour rendre le carbone libre (Graphite, Anthracite, Houille, etc.) accessible à l'essai indiqué, on peut l'oxyder par voie de fusion avec le nitre.

On peut chasser par l'acide chlorhydrique ou l'acide nitrique, l'anhydride carbonique des carbonates insolubles, et observer à l'aide du microscope les bulles de gaz qui s'échappent.

Silicium. — On dissout la substance dans l'acide fluorhydrique ou dans le fluorure d'ammonium additionné d'acide chlorhydrique, et l'on précipite par un excès de chlorure de sodium. Le fluosilicate de sodium se présente en prismes à six pans, en lamelles ou étoiles hexagonales ou encore en rosettes à six rayons (voir figure 377, p. 173); tous ces cristaux se distinguent par des contours très accentués et par une coloration rose pâle. Ce sel ressemblant beaucoup à d'autres fluosels sodiques ; on fera bien, en cas de coexistence du bore, du titane, du zirconium ou de l'étain avec le silicium, de provoquer la formation du fluosilicate de potassium ($SiFl_4.\ 2KFl$) qui cristallise en cubes incolores, très peu réfringents. (Voir fig. 376, page 173).

Figures de corrosion. — Les faces d'un cristal qui appartiennent à des formes différentes sont différemment attaquées par des liquides dissolvants ou par des vapeurs. Sur certaines faces l'attaque est plus rapide que sur d'autres : c'est ainsi que sous l'action de l'acide chlorhydrique, les faces $\varkappa\ \{10\bar{1}1\}$ de la Calcite sont plus rapidement attaquées que la base $\varkappa\ \{0001\}$.

Quand l'attaque est de courte durée ou quand le dissolvant est très dilué, les faces sont parsemées de petites cavités à contours géométriques et

orientées. On désigne ces cavités sous le nom de *figures de corrosion*. Si l'on prolonge l'attaque on peut les agrandir au point de les rendre visibles à l'œil nu ou à la loupe. Généralement c'est au microscope qu'il faut recourir pour les distinguer. La forme des figures de corrosion est toujours en rapport avec la symétrie de la face où elles se montrent : elles sont semblables sur des faces semblables, et différentes sur des faces différentes.

La fig. 388 représente la face de base du Mica Muscovite (monoclinique) attaquée par l'acide fluorhydrique et l'acide sulfurique; les figures de corro-

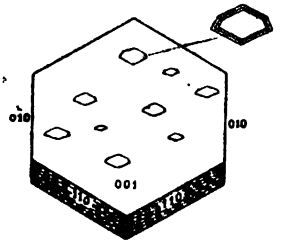


Fig. 388.

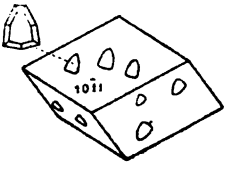


Fig. 389.

sion sont symétriques par rapport à un plan parallèle au plan de symétrie (010) du cristal.

Les six faces d'un rhomboèdre de Calcite ($CaCO_3$), attaquées par l'acide chlorhydrique dilué, montrent des figures de corrosion identiques qui sont monosymétriques (fig. 389); les faces de base (0001) de la Calcite présentent, au contraire, des figures de corrosion qui sont symétriques par rapport à trois directions (fig. 390). Ces faits sont conformes à la symétrie de la Cal-

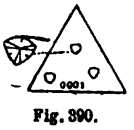


Fig. 390.

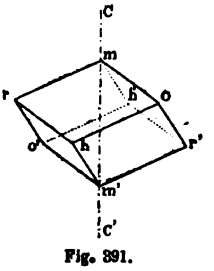


Fig. 391.

cite; il y a, en effet, trois plans de symétrie qui sont déterminés par l'axe vertical CC′ (fig. 391) et les trois normales aux trois couples de faces parallèles du rhomboèdre : les faces du rhomboèdre sont donc monosymétriques, tandis que les faces de base sont trisymétriques.

Quand on attaque un cristal d'Apatite (fig. 162) par l'acide chlorhydrique, on observe sur la face C = π (0001), des figures à contours hexagonaux

(fig. 392), mais qui ne sont pas symétriques par rapport aux plans verticaux de symétrie S et S′ (fig. 120) du système hexagonal; les figures de corro-

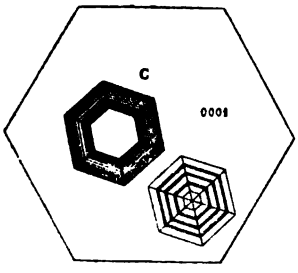


Fig. 392.

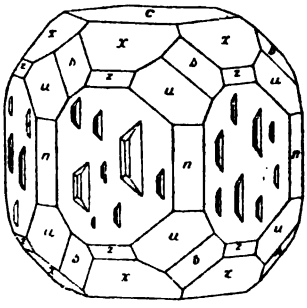


Fig. 393.

sion sur les faces M = π {10$\bar{1}$0} (fig. 393) ne sont pas, non plus, symétriques par rapport à un plan S ou S′, mais elles accusent une symétrie par rapport au plan horizontal. Nous concluons de ces faits que l'Apatite ne possède qu'un seul plan de symétrie — le plan horizontal de symétrie —, et il en est ainsi, puisque l'Apatite cristallise dans l'hémièdrie pyramidale du système hexagonal (Voir page 74).

Les figures 394 et 395 nous montrent deux cristaux de Quartz, l'un lévogyre (fig. 394), l'autre dextrogyre (fig. 395), qui ont été soumis à

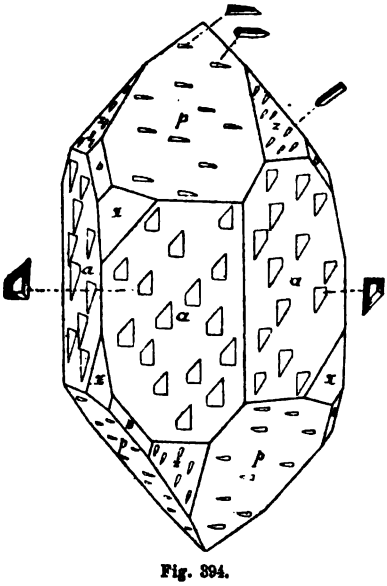


Fig. 394.

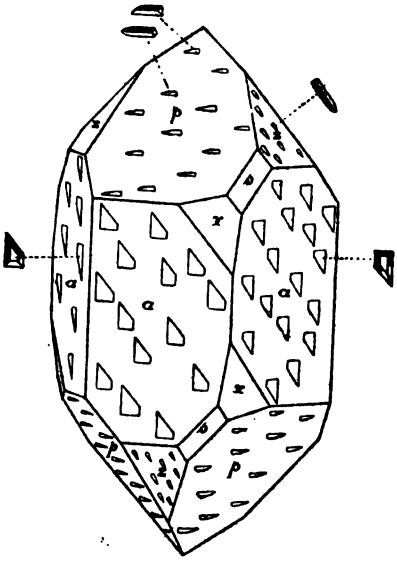


Fig. 395.

l'action de l'acide fluorhydrique. La forme des figures de corrosion qu'on observe sur les faces a = κτ {10$\bar{1}$0}, p = κτ {10$\bar{1}$1} et z = κτ {01$\bar{1}$1} prouve

que ces cristaux ne possèdent aucun plan de symétrie; l'orientation de ces figures nous apprend, en outre, quel est le sens de la polarisation rotatoire dans chacun de ces cristaux.

Sur les faces (010) d'un cristal de Calamine ($Zn_2SiO_4.H_2O$) l'acide chlorhydrique fait naître des figures allongées (fig. 396) qui sont symétriques par rapport à un plan parallèle à (100), mais elles montrent des contours différents à leurs extrémités supérieure et inférieure, ce qui doit nécessairement se produire puisque la Calamine est hémimorphe (page 91).

Quand on fait agir un dissolvant convenable sur un cristal maclé, on obtient des figures de corrosion, qui par leur orientation et par leur forme,

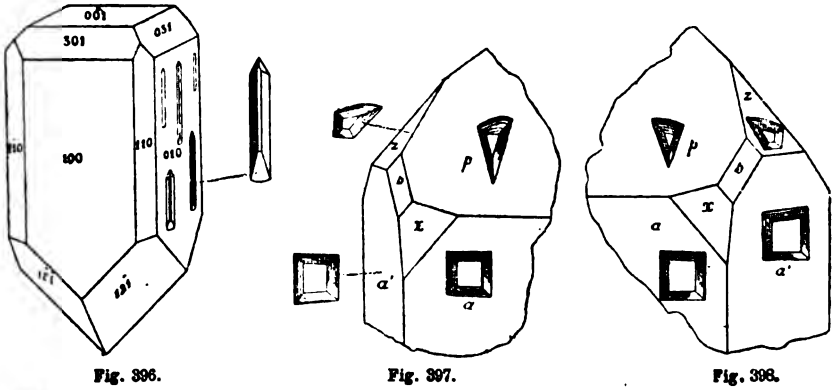


Fig. 396. Fig. 397. Fig. 398.

indiquent d'une façon très nette que le cristal est composé de plusieurs individus.

La forme des figures de corrosion varie, en général, avec la nature du dissolvant, mais leur symétrie reste toujours identique à celle des faces sur lesquelles elles se montrent. C'est ainsi que les figures de corrosion obtenues à l'aide de la potasse caustique sur les faces *a*, *p*, *z* du Quartz (fig. 397 et 398) sont nettement différentes de celles qu'on obtient par une attaque à l'acide fluorhydrique (fig. 394 et 395), bien que, au point de vue de la symétrie, ces deux espèces de figures ne se distinguent nullement.

On constate souvent des figures de corrosion sur les cristaux naturels. Ces figures peuvent être quelquefois si petites et si serrées les unes contre les autres, que les faces où elles apparaissent en deviennent mates. On comprend la formation de ces figures en tenant compte de l'action des dissolvants naturels à laquelle ont été soumis dans leurs gisements les minéraux cristallisés.

L'étude des figures de corrosion est devenue d'un usage constant et elle rend de grands services quand il s'agit de connaître, par exemple, la nature hémiédrique d'un corps présentant des formes qui ne sont pas susceptibles de la mettre en évidence.

Pseudomorphoses. On désigne sous le nom de *pseudomorphoses* les substances dont la forme cristalline a été empruntée à un autre corps cristallisé.

On doit distinguer les pseudomorphoses proprement dites des *pseudomorphoses de moulage*; ces dernières se produisent quand une substance se dépose sur des cristaux déjà formés, se moulant ainsi sur la forme extérieure de ces cristaux. C'est ainsi que les incrustations plus ou moins épaisses de Quartz qu'on constate sur un grand nombre de minéraux portent des empreintes souvent très nettes des formes de ces minéraux (Quartz sur Calcite, sur Sidérose, sur Fluorine etc.). Si après la formation d'une incrustation le minéral incrusté vient à disparaître, les vides qu'il laisse peuvent servir de moules à une autre substance, qui, en les remplissant, montrera les formes du minéral disparu.

Les véritables pseudomorphoses peuvent être groupées en trois catégories :

1° L'architecture moléculaire du cristal se modifie, tandis que la composition chimique et la forme extérieure restent les mêmes. Ces pseudomorphoses qu'on appelle aussi *paramorphoses*, ne sont pas très fréquentes; en effet, ce ne sont que les minéraux dimorphes ou polymorphes (page 165) qui puissent les présenter. — La structure moléculaire de l'Aragonite, par exemple, peut se transformer en celle de la Calcite, tout en laissant au minéral la forme extérieure de l'Aragonite.

2° La composition chimique ainsi que la structure moléculaire se modifient, la forme extérieure restant la même. — L'Anhydrite ($CaSO_4$, rhombique) peut, en s'hydratant lentement, se transformer en Gypse ($CaSO_4.2H_2O$, monoclinique) qui conservera les formes de l'Anhydrite; la transformation inverse s'observe également. Les cristaux de Pyrite (FeS_2) se transforment en Limonite ($Fe_2O_3.Fe_2(OH)_6$), sans que le cube ou les autres formes de la Pyrite soient affectés.

3° La substance du minéral est entièrement remplacée par une autre, sans que la forme extérieure soit modifiée. — La substance de la Calcite ($CaCO_3$) peut être peu-à-peu remplacée par le bioxyde de manganèse (MnO_2) ou la silice (SiO_2); on a alors de la Pyrolusite (MnO_2) ou du Quartz (SiO_2) avec les formes de la Calcite.

Les pseudomorphoses se produisent presque toujours par voie humide. La transformation commence à la periphérie et s'avance vers le centre, tantôt régulièrement tantôt irrégulièrement, en suivant des fissures ou des canaux microscopiques; la structure cristalline du minéral exerce également son influence sur la marche de la transformation.

MODE DE FORMATION DES MINÉRAUX,

ASSOCIATIONS, GISEMENTS.

Les minéraux qui se forment sous nos yeux nous permettent de tirer des conclusions sur les conditions dans lesquelles leurs congénères des temps géologiques se sont formés. Ainsi ceux que nous voyons se déposer par sublimation dans les volcans (l'Oligiste, l'Augite, les Grenats etc.), les dépôts calcareux des sources et ceux des sources thermales (l'Aragonite, la Calcite, les Zéolithes, etc.), les minéraux qui se forment dans les mines sur les charpentes ou sur les squelettes d'organismes de la période actuelle, tous ces minéraux nous prouvent d'une manière certaine que ces mêmes espèces qui ont été formées aux temps géologiques peuvent avoir une origine identique à celle qui nous est indiquée par nos observations directes. Toutefois, comme certains minéraux ont été obtenus par plusieurs méthodes et qu'on les observe dans des conditions qui nous forcent d'admettre pour eux diverses origines, on ne peut pas généraliser à tous les cas où l'on observe le minéral dont il s'agit, le processus de formation qu'on déduit d'une observation isolée ou d'une synthèse unique.

Les associations minérales (*paragénèse*) peuvent à leur tour éclairer le problème de l'origine des minéraux ; ainsi l'on trouve de l'argent natif et du cuivre dans les vacuoles des mélaphyres du Lac Supérieur ; ces métaux ne peuvent s'être formés que par précipitation au sein d'une solution et non d'une matière fondue, car dans ce dernier cas il se serait produit des alliages.

Le *gisement* des minéraux permet aussi de conclure aux conditions de formation ; ainsi lorsqu'on voit les minéraux constitutifs des roches éruptives enchâssés dans une lave, lorsqu'on observe des concrétions minérales au sein de roches sédimentaires, des cristaux dans des géodes ou dans les vacuoles de roches volcaniques, on a des données certaines pour établir l'origine de ces diverses espèces.

Ajoutons qu'on peut trouver les minéraux aux points où ils se sont formés (*Gisements primaires*) ou bien en des gites où ils ont été amenés par des actions postérieures à leur formation (*Gisements secondaires*). Dans ce dernier cas ils peuvent s'agréger et former des roches clastiques solides, ou bien constituer des roches meubles. Comme dans leur transport les

minéraux sont quelquefois soumis à un broyage énergique, un grand nombre d'entre eux sont réduits en poudre impalpable ; les pierres précieuses seules sont assez dures pour résister à ces actions de transport et de polissage, on les trouve alors réunies dans des gîtes sédimentaires. Ce qui vient d'être dit à propos des pierres précieuses s'applique aussi dans une certaine mesure aux métaux nobles.

Les minéraux des gîtes primaires, ceux donc qui se sont formés au lieu et place où nous les trouvons, permettent en général de voir qu'ils sont plus récents que la roche qui les renferme ; cela est vrai surtout pour les minéraux des filons métallifères qui se sont formés dans des fissures traversant la roche déjà solidifiée. Ceci s'applique non seulement aux filons de roches silicatées comme ceux de la pegmatite, mais aux nombreux filons métallifères, qui comme les premiers traversent souvent les roches massives. De même, les minéraux qui se forment dans les vacuoles des roches volcaniques sont plus récents que la roche encaissante. C'est le cas en particulier pour les géodes d'Agate, d'Améthyste, de Calcaire, de Zéolithes, etc. On peut appliquer aussi ce que nous venons de dire aux concrétions telles que les nodules de Silex de la craie, les groupements globuliformes de cristaux de Gypse et de Marcassite dans les argiles, etc.

Les minéraux qui se rencontrent comme éléments constitutifs dans les roches, montrent, en général, des formes cristallines moins bien développées ; c'est surtout dans les fissures et les géodes qu'on trouve les cristaux dont la forme est la plus parfaite et la plus compliquée.

Modes de formation des minéraux dans la nature. — Après ces considérations générales indiquons quels sont les modes de formation des minéraux dans la nature.

En tenant compte des observations qu'on peut faire quant aux gisements et associations, des résultats des synthèses naturelles et intentionelles dont nous parlerons tout-à-l'heure, et en s'appuyant sur des considérations théoriques, on peut admettre que les minéraux se sont formés d'après les modes suivants :

I. *Minéraux sublimés.* — C'est surtout près des volcans et des solfatares qu'on les rencontre ; on en trouve quelquefois dans des houillères incendiées.

1° Ils peuvent être simplement sublimés. 2° Ils peuvent être produits par réactions mutuelles des vapeurs ou des gaz volcaniques. 3° Ils peuvent se former par la décomposition chimique de roches sous l'influence des vapeurs et des gaz volcaniques.

II. *Minéraux déposés de solutions.* — Les eaux des sources froides et

thermales, douces ou salées, renferment des substances qui peuvent se déposer sous l'influence de diverses causes : 1° Par précipitation directe. 2° Par précipitations dues à des phénomènes de réduction ou d'oxydation. 3° Par double décomposition. 4° Par électrolyse. 5° Sous l'influence de substances organiques ou d'organismes.

III. *Minéraux formés par refroidissement, au sein d'une matière fondue.* — C'est de cette manière que se sont formés tous les minéraux primaires des roches éruptives : le Quartz, l'Orthose, les Plagioclases, l'Augite, la Hornblende, le Mica, l'Amphigène, la Néphéline, le Grenat, la Titanite, le Zircon, l'Apatite, la Magnétite, etc.

Une question de haute importance est celle de la formation des minéraux filonniens. Elle ne peut être tranchée d'une manière absolue; il est nécessaire de l'envisager dans chaque cas particulier et de tenir compte du fait que nous avons déjà fait ressortir : qu'un minéral peut se former de diverses manières. Nous résumons ici les idées théoriques en présence pour expliquer l'origine de ces minéraux filonniens.

Les eaux atmosphériques chargées d'oxygène et d'acide carbonique oxydent et dissolvent les matières minérales des couches superficielles de l'écorce terrestre; elles transportent ces substances dissoutes qui vont se concentrer à un niveau inférieur, où elles se précipitent. Comme exemple de ces dépôts, citons les dépôts chimiques des mers et des lacs : Sel marin, Gypse, Anhrydrite, Stassfurtite, etc. Sous l'influence des eaux atmosphériques il se forme dans l'intérieur des roches des dépôts de matières minérales qui cimentent ces masses pierreuses : les filons de minérais de fer sont transformés à leur partie supérieure en limonite (*chapeau de fer*). Enfin, sous cette même influence, les roches sont enrichies en métaux nobles par la dissolution et l'élimination des matières minérales auxquelles ces derniers étaient associés.

C'est cette action des eaux descendantes, très variable suivant les lieux, les conditions climatériques, le revêtement végétal, qui a été invoquée par quelques-uns pour rendre compte de la formation des filons métallifères et des gîtes minéraux. Certains géologues et minéralogistes ont admis que les filons doivent avoir été formés sous l'influence des eaux atmosphériques infiltrantes; celles-ci auraient en quelque sorte enlevé de la roche voisine, sous la forme de solution, les minéraux filonniens. Cette hypothèse a été désignée sous le nom de « *Théorie de la sécrétion latérale* ». Mais on ne voit pas, dans ces filons, que la décomposition des roches voisines se soit étendue assez loin pour produire une accumulation aussi considérable de minérais que celle que l'on constate dans les gîtes, car c'est à peine si les roches massives voisines sont décomposées à une petite distance de la masse filonienne. En outre, dans cette hypothèse on est obligé de supposer que ce sont précisément les combinaisons les moins solubles et les plus résistantes à l'action des agents atmosphériques qui ont été extraites des roches encaissantes et déposées dans les fissures.

On a donc été porté à admettre une autre théorie, d'après laquelle ces minéraux filonniens auraient été produits sous l'action des phénomènes volcaniques, qui les auraient amenés de la profondeur et déposés sur les parois des fissures rocheuses.

Les fumerolles et les sources d'eaux chaudes voisines des volcans actuels, tiennent en solution des matières variées, qu'elles déposent près des points d'émergence. Des phénomènes analogues ont dû se produire dans les périodes géologiques antérieures, mais sur une plus grande échelle que de nos jours. Nos volcans actuels sont des embryons en comparaison des massifs granitiques; les phénomènes postvolcaniques de ces grandes éruptions doivent avoir produit des effets incontestablement plus considérables que ceux que nous observons aux volcans actuels. On peut attribuer à un mode de formation analogue l'origine des gisements stannifères qui sont en général, associés à un granite avec Mica lithinifère, Cassitérite et Topaze. Dans cette roche ou dans son voisinage le plus immédiat, on observe des filons qui renferment du Quartz et de la Cassitérite, ainsi que deux groupes de minéraux, dont le premier qui comprend la Fluorine, la Topaze, la Tourmaline et l'Apatite, est caractérisé par la présence du fluor, du bore, de l'acide phosphorique, etc.; et dont le second comprend la Wolframite, la Molybdénite, l'Uranglimmer et des éléments rares. Les roches voisines sont profondément modifiées, elles deviennent tourmalinifères ou topazifères; elles s'enrichissent en Quartz et en oxyde d'étain et se transforment enfin en Kaolin, etc. Une transformation si profonde et une imprégnation de la roche voisine telle que nous la constatons ici, ne peuvent pas être attribuées simplement à l'action des agents atmosphériques, et le fait de l'association constante de ces filons stannifères avec des masses granitiques tend à démontrer qu'il existe entre ces deux ordres de phénomènes des relations génétiques. La présence du fluor, du bore, de l'acide phosphorique, dont on connaît l'action minéralisatrice et la tendance à former des combinaisons volatiles avec la silice, l'étain, etc., nous porte à admettre l'intervention de gaz et de vapeurs, qui à la suite de l'intrusion granitique, montaient dans les fissures des roches récemment consolidées et pénétraient jusque dans les masses voisines, déposant dans les cassures et au contact de ces roches, les substances que ces agents de la dynamique interne avaient amenées de la profondeur.

Synthèse des minéraux. — La synthèse des minéraux permet d'éclairer leur mode de formation dans la nature, d'étendre nos connaissances relatives aux combinaisons inorganiques, et d'obtenir pour les soumettre aux recherches physiques et chimiques, des individus plus parfaits et plus purs que ceux de la nature.

La synthèse peut se produire : 1° *par sublimation;* on obtient ainsi des cristaux de Soufre, d'Arsenic, de Réalgar, d'Orpiment, etc. Dans les hauts-fourneaux la combinaison amorphe PbS se sublime et donne des squelettes de cristaux de Galène.

2° *Par cristallisation d'une solution liquide.* Par l'élimination des dissolvants, eau pure ou chargée d'acide carbonique, cristallisent le Sel gemme, la Sylvine, des sulfates, etc. L'eau chaude en se refroidissant laisse déposer de l'acide borique, du Tinkal, etc. L'eau surchauffée et sous pression peut dissoudre des Zéolithes qui se déposent lorsque la dissolution se refroidit. L'eau surchauffée possède, lorsqu'elle est soumise à une forte pression,

un pouvoir dissolvant énergique, et on peut dire la même chose des solutions salines aqueuses. De solutions aqueuses qu'on abandonne à l'évaporation, on ne peut obtenir que des cristaux de minéraux solubles dans l'eau.

3° *Par cristallisation au sein d'une matière fondue.* — Tous les métaux fusibles peuvent être obtenus à l'état cristallin par fusion. C'est ainsi également qu'on peut reproduire un grand nombre de minéraux qui sont les éléments constitutifs des roches ignées.

Dans les scories des hauts-fourneaux peuvent se former des cristaux d'Olivine, d'Augite, de Wollastonite, de Hornblende etc. Michel Lévy et Fouqué sont parvenus à obtenir divers silicates : Feldspath à base de soude et de chaux, Leucite, Néphéline, Grenat, etc. en faisant fondre les éléments de ces minéraux. Disons pourtant que certains minéraux des roches éruptives n'ont pu être reproduits par ce procédé, et qu'on ne les a obtenus qu'en faisant intervenir des *minéralisateurs;* ces derniers éléments doivent avoir agi à l'état gazeux et sous de fortes pressions, au sein du magma fondu où les minéraux se sont formés.

4° *Par modification moléculaire dans un corps à l'état solide.* — C'est par ce processus que des masses amorphes de soufre deviennent cristallines.

5° *Par réaction mutuelle de gaz.* — Les chlorures métalliques volatils et les fluorures sont décomposés, à haute température, par la vapeur d'eau et le sulfure de carbone; ils donnent ainsi naissance à de l'acide chlorhydrique et à des oxydes ou des sulfures. On a reproduit par ce procédé l'Oligiste, la Cassitérite, le Rutile, le Corindon, la Blende, la Greenockite, etc.

Par double échange de gaz et de vapeurs on a obtenu un certain nombre de minéraux filonniens.

6° *Par réaction de gaz sur des solutions.* — L'hydrogène sulfuré précipite de leurs solutions plusieurs métaux à l'état de sulfures dont la composition répond à celle des minéraux sulfurés, et ces précipités peuvent être obtenus, dans certaines circonstances, sous la forme cristalline.

7° *Par réaction de gaz sur des solides.* — On obtient du Spinelle en faisant agir, à haute température, le chlorure d'aluminium et la vapeur d'eau sur le magnésium.

8° *Par réaction de solutions entre elles.* (Précipitation, réduction, oxydation). — Des combinaisons solubles donnent par double décomposition des précipités insolubles ou difficilement solubles, qui sont en général amorphes; ils peuvent cristalliser lorsqu'ils se forment lentement. Ainsi, on obtient la Barytine par l'action du sulfate de fer sur le nitrate de baryum; l'Anglésite par l'action du sulfate de fer sur le nitrate de plomb. La pression et une haute température favorisent aussi, dans ce cas, la cristallisation. L'or, l'argent, le cuivre peuvent être précipités de leurs

solutions par réduction; par exemple à l'aide de l'acide oxalique. Le mélange de solutions peut déterminer la précipitation de sels difficilement ou peu solubles à la température ordinaire, par une diffusion lente d'une solution dans l'autre. Notons que par le mélange de solutions très étendues on peut obtenir des cristaux plus volumineux que ceux qui se déposent quand on mélange brusquement des solutions concentrées.

9° *Par réaction de solutions sur des solides.* — Une plaque de fer mise en contact avec du phosphate d'ammonium donne de la Vivianite. Du Gypse introduit dans une solution étendue de carbonate de sodium détermine la formation de la Calcite.

10° *Par réaction mutuelle de matières fondues.* — Du sulfate de fer fondu avec du phosphate du même métal donne de la Magnétite. Ce minéral se forme aussi quand on fait fondre du sulfate de fer avec du chlorure de calcium.

11° *Par réaction mutuelle de solides.* — En soumettant à la pression un mélange de soufre et de limaille de cuivre on obtient du sulfure de cuivre.

12° *Par électrolyse.* — On sait qu'on peut obtenir par ce procédé un grand nombre de beaux cristaux. (Cuivre, Plomb, Etain, etc.)

ERRATA.

Page 48,	ligne	7 en remontant.	*Lisez*	59			*au*	*lieu*	*de*	61
» 73,	»	4 en descendant :	»	$\{hi\bar{k}o\}$			»	»	»	$\{hiko\}$
» »	»	11 en remontant :	»	$\{hi\bar{k}l\}$			»	»	»	$\{hikl\}$
» »	»	9 » »	»	négative $\pi\{k\bar{i}\bar{h}l\}$			»	»	»	positive $\pi\{hi\bar{k}l\}$
» »	»	7 » »	»	positive $\pi\{hi\bar{k}l\}$			»	»	»	négative $\pi\{k\bar{i}\bar{h}l\}$
» »	»	3 » »	»	pointillées			»	»	»	pleines
» »	»	2 » »	»	pleines			»	»	»	pointillées
» 111	»	13 » »	»	Corindon			»	»	»	Corindno

CLASSIFICATION ET DESCRIPTION

DES ESPÈCES MINÉRALES.

On comprend sous le nom d'*espèce* l'ensemble des corps minéraux qui ont les mêmes caractères cristallographiques, chimiques et physiques. Dans un grand nombre de cas il n'est pas possible de délimiter nettement les espèces; c'est ce qui arrive pour les minéraux qui sont formés par mélanges isomorphes. Le nombre des minéraux qui ont reçu des noms spéciaux est aujourd'hui très considérable et il s'accroit tous les jours. On peut évaluer à onze cents le nombre d'espèces proprement dites.

Les *variétés* sont formées par des individus de la même espèce, mais qui sont caractérisés par des particularités que d'autres ne possèdent pas. Ces particularités peuvent porter sur la couleur, sur la composition chimique, sur la forme des cristaux, etc., en général, les variétés sont reliées au type de l'espèce par des transitions.

Le cadre de ce cours élémentaire de minéralogie ne permet d'étudier qu'un nombre relativement restreint d'espèces. La description des minéraux importants est imprimée en caractères ordinaires, tandis que celle des espèces ou variétés rares ou peu importantes au point de vue industriel, est donnée en petits caractères.

La classification que nous avons adoptée est conforme à celle de M. P. Groth. *(Tabellarische Uebersicht der Mineralien;* 4e édition. 1898.*)*

Le tableau suivant donne les grands traits de cette classification :

Ie CLASSE. — ÉLÉMENTS.

IIe CLASSE. — COMBINAISONS DU SOUFRE, DU SÉLÉNIUM, DU TELLURE, DE L'ARSENIC, DE L'ANTIMOINE ET DU BISMUTH.

Groupe A : Sulfures des métalloïdes.
» *B* : » » métaux
» *C* : Sulfosels.

IIIe CLASSE. — COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE.

Groupe A : Oxydes anhydres
» *B* : Hydroxydes.
» *C* : Oxysulfures.

IVe CLASSE. — Sels haloïdes.

Groupe A : Sels haloïdes simples.
» *B* : » » doubles.
» *C* : Oxychlorures et Oxyfluorures.

Ve CLASSE. — Nitrates, Iodates, Carbonates, Sélénites, Manganites, Plombates.

Groupe A : Nitrates et Iodates.
» *B* : Carbonates.
» *C* : Sélénites (et Tellurites).
» *D* : Manganites et Plombates.

VIe CLASSE. — Sulfates, Chromates, Molybdates, Wolframates, Uranates.

Groupe A : Anhydres.
» *B* : Hydratés.

VIIe CLASSE. — Borates, Aluminates, Ferrites, Arsenites, Antimonites.

Groupe A : Anhydres.
» *B* : Hydratés.

VIIIe CLASSE. — Phosphates, Arséniates, Antimoniates, Vanadates, Niobates, Tantalates.

Groupe A : Anhydres
» *B* : Hydratés.

IXe CLASSE. — Silicates, Titanates, Zirconiates, Thorates, Stannates.

Groupe A : Silicates basiques.
» *B* : Orthosilicates.
» *C* : Silicates intermédiaires.
» *D* : Métasilicates.
» *E* : Polysilicates.
» *F* : Silicates hydratés.

Xe CLASSE. — Combinaisons organiques.

ABRÉVIATIONS DONT IL SERA FAIT USAGE.

Ch. au chalumeau.
P. A. plan des axes optiques.
B_a bissectrice aiguë,
B_o » obtuse.
D. dureté.
P. S. poids spécifique.
C. ch. composition chimique.
a. b. c. axes cristallographiques,
α, β, γ, axes d'élasticité optique.

n_ω, n_ε indices de réfraction (cristaux à 1 axe).
n_α, n_β, n_γ, indices de réfraction (cristaux à 2 axes).
$2V_a$ angle des axes optiques vrai.
$2E_a$ » » » » dans l'air.
$2H_a$ » » » » dans l'huile
+, — signe optique.
|| parallèle à.
⊥ perpendiculaire à.

Ie CLASSE. — ÉLÉMENTS.

DIAMANT. — (Du grec ἀδάμας = acier le plus dur) — Cubique; cristaux d'apparance holoédrique, mais appartenant en réalité à l'hémiédrie tétraédrique. Toutes les formes du système ont été observées; le cube {100}, le dodécaèdre {110} et surtout l'ikositétraèdre {hll} sont cependant très rares. Les faces sont ordinairement bombées (fig. 399, hexakisoctaèdre) et corrodées.

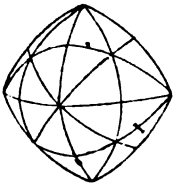


Fig. 399.

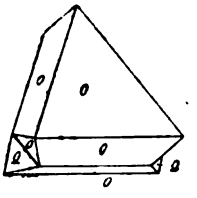


Fig. 400.

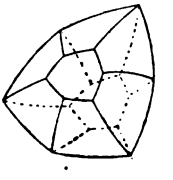


Fig. 401.

On rencontre deux espèces de macles : les macles par juxtaposition suivant une face d'octaèdre (fig. 400 et 401), et les macles par pénétration suivant une face du cube (fig. 402 et 403, l'un des individus a été marqué d'un pointillé pour le distinguer de l'autre); ces dernières macles peuvent présenter l'aspect de cristaux holoédriques, mais en les examinant attentivement on observe des angles rentrants sur les arêtes. Sur les faces {111} on observe

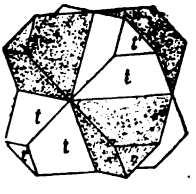


Fig. 402.

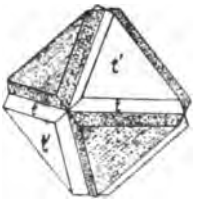


Fig. 403.

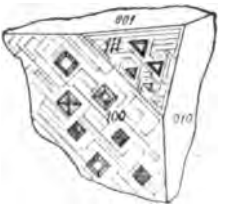


Fig. 404.

quelquefois des empreintes en creux de forme triangulaire; ces creux sont rectangulaires sur les faces {100} (fig. 404).

Clivage parfait suivant les faces de l'octaèdre, cassure conchoïdale. D. = 10. Le D. ne peut se tailler que par l'emploi de sa propre poussière. P.S. = 3,5 à 3,6. *Éclat adamantin*; transparent; incolore ou coloré en jaune, gris, brun, vert, rouge, bleu, rarement en noir. Réfringence et dispersion énergiques. (Indice de réfraction = 2,413 rouge.) Électrique par frottement, conducteur de la chaleur, mauvais conducteur de l'électricité, transparent pour les rayons X.

C. ch. : C_4, brûle complètement dans l'oxygène; un mélange de bichro-

mate de potasse et d'acide sulfurique le transforme en acide carbonique.

On distingue : 1° le *D. proprement dit* : la pierre précieuse la plus recherchée. L'art de tailler le D. est dû à Louis de Berquen de Bruges (1456). On le taille en *rose* (fig. 406), ou en *brillant* (fig. 405). La valeur des brillants est de beaucoup supérieure à celle des roses ; un individu d'un carat (197 à 206 milligrammes) taillé en brillant peut valoir au moins 280 à 300 francs. Le prix croît à peu près comme le carré du poids. La figure 407 représente, en grandeur naturelle, un brillant de 25 carats.

2° le *Bort* ou D. en boule, à structure radiée utilisé pour le polissage.

3° le *Carbonado* en petits grains cristallins arrondis ou en morceaux qui atteignent parfois la grosseur du poing, de couleur noire et employés au forage des trous de mine et de sonde.

On trouve le D. dans des terrains sédimentaires, souvent dans le terrain tertiaire, dans des Schistes cristallins, Micaschistes et Amphibolites,

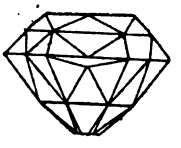


Fig. 405.

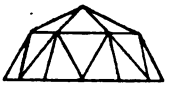


Fig. 406.

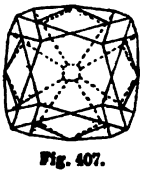


Fig. 407.

surtout dans l'Itacolumite (Brésil), ou dans des brêches serpentineuses (au cap de Bonne Espérance) mais il ne s'est pas formé dans les roches où on le trouve. Les minéraux qui accompagnent le D. sont ceux qu'on rencontre généralement dans les alluvions à pierres précieuses ou à métaux nobles : Or, Platine, Topaze, Chrysobéryl, Tourmaline, Grenat, Zircone, Rutile, Cassitérite, Quartz, Fer titané, etc.

C'est des gisements aujourd'hui épuisés de Golconde dans l'Inde que sont venus les D. les plus connus : Kohinor, 103 3/4 carats; Le Régent 136 1/4 carats; le Florentin 134 carats; l'Orlow 194 carats; le Shah 95 carats; le Sancy 55 carats. Bornéo a fourni de nombreux D.; depuis 1727 on en a trouvé beaucoup au Brésil, dans les provinces de Minas-Geraës et de Bahia; le D. s'y rencontre dans des conglomérats quartzifères riches en fer (Cascalhos) ou dans l'Itacolumite. Aujourd'hui la région qui fournit le plus de D. est le Griqualand, près de la rivière Vaal, au Cap. Les mines de cette région donnent ordinairement 10 carats de D. pour un mètre cube de gangue; elles ont fourni jusqu'ici plus de 13 tonnes (60,000,000 de carats) de D., présentant une valeur de plus de deux milliards. Les trouvailles de D. qu'on a faites depuis 1867 sont tellement nombreuses que le prix de ce minéral en a baissé. On recherche encore les D. dans la Caroline du nord, la Géorgie, la Virginie, la Californie, le Mexique, l'Australie et en quelques points de l'Oural. On a observé le D. dans quelques météorites.

Les cristaux de D. sont toujours terminés de toutes parts, ce qui prouve qu'ils ont été formés à l'état de suspension, mais le mode de formation du D. est encore

inconnu. Cependant M. Moissan est parvenu à reproduire le D. A cet effet il chauffe à 3000° environ, à l'aide d'un courant électrique, un mélange de fer et de charbon, et refroidit brusquement la masse fondue : la cristallisation du fer détermine une pression considérable qui oblige le carbone à se déposer à l'état de D.

GRAPHITE. — (Du grec γράφειν = écrire.) — Hexagonal. (Hémiédrie rhomboédrique) $a : c = 1 : 4,797$. Les cristaux se présentent sous forme de lamelles à six côtés; les formes ordinaires sont le prisme $\times \{10\bar{1}0\}$ et la base $\times \{0001\}$; on observe rarement des faces de pyramide bien développées.

Clivage parfait suivant la base, imparfait parallèlement au prisme. D. = 0,5 à 1; P.S. = 1,93 à 2,3. Flexible en lames minces, tache le papier; éclat métallique, noir de fer à poussière noire, opaque, bon conducteur de l'électricité.

C. ch. : C_1, infusible, brûle dans l'oxygène plus difficilement que le Diamant, laisse quelquefois 20 °/₀ de cendres ferrugineuses. Traité à chaud par un mélange d'acide nitrique fumant et de chlorate de potasse, le G. se transforme en acide graphitique (paillettes hexagonales jaunes), ce qui constitue une réaction très caractéristique pour ce minéral.

Le G. se présente ordinairement en grains, en lamelles, quelquefois en masses fibreuses, dans les Schistes et Calcaires cristallins, dans des Granites mais rarement dans d'autres roches éruptives; Passau, Cumberland, Pargas, Oural, Sibérie du sud (mines d'Alibert), Ceylan.

Le G. des météorites et celui qui se produit dans la métallurgie du fer sont semblables au G. proprement dit.

On emploie le G. pour la fabrication des crayons qui consomme environ 4 °/₀ de la production totale, pour la fabrication des creusets réfractaires, comme lubréfiant pour adoucir le frottement des arbres de transmission, etc. Une grande partie du G. est consommée pour garnir les moules de fonderie, pour la galvanoplastie, le lissage des poudres, etc.; mélangé d'huile il constitue un excellent enduit pour les objets en fer et autres métaux exposés aux actions atmosphériques. Le prix du G. varie beaucoup : de 700 francs la tonne (G. très pur pour crayons), à 50 francs (G. pour moules de fonderie). La production a été de 75,000 tonnes en 1896.

SOUFRE. — Rhombique, $a : b : c = 0,8130 : 1 : 1,9037$; la forme la plus ordinaire est celle d'une pyramide rhombique $p = \{111\}$ (fig. 408), ou une combinaison de cette pyramide avec $s = \{113\}$, $c = \{001\}$, $n = \{011\}$; (fig. 409). Les angles sont $(111) : (11\bar{1}) = 36°43'$; $(111) : (1\bar{1}1) = 73°22'$; $(111) : (\bar{1}11) = 95°2'$. Quelquefois quatre faces de la pyramide prédominent, ce qui donne au cristal un aspect sphénoédrique (fig. 410).

On observe souvent des macles avec (101) pour plan de macle, le plan d'accolement étant (111); on trouve quelquefois des macles suivant (110).

Clivage imparfait suivant {001} et {110}; cassure conchoïdale, D. = 1 1/2 à 2 1/2. P.S. = 2,07. Couleur *jaune de soufre,* jaune miel, gris et brun ; éclat adamantin sur les faces, résineux dans la cassure ; poussière jaune.

P.A. ‖ (010). Double réfraction énergique ⊥. Indices de réfraction pour la lumière jaune : $n_\alpha = 1,9598$; $n_\beta = 2,0401$; $n_\gamma = 2,2483$. $B_a \perp (001)$. $\rho < \upsilon$. $2V_a = 69°$, voir figure 411. Le S. prend l'électricité négative sous l'action du frottement; il est mauvais conducteur. Lorsqu'on chauffe le S à l'air il s'enflamme à 270°, et brûle avec une flamme bleue en dégageant de l'anhydride sulfureux reconnaissable à son odeur piquante.

Le S. fond à 108° et donne par refroidissement des aiguilles monocliniques ; les cristaux sont rhombiques, au contraire, quand on les obtient par évapora-

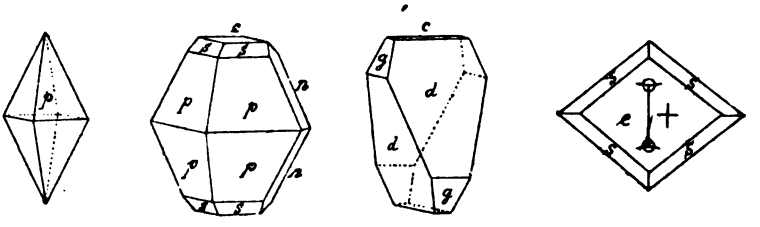


Fig. 408. Fig. 409. Fig. 410. Fig. 411.

tion d'une dissolution de S. dans le sulfure de carbone ; les cristaux obtenus par refroidissement tendent à reprendre la forme rhombique.

Le S. pur ou quelquefois mélangé d'arsenic, de matières bitumineuses ou de sélénium, se présente en amas stratiformes ou en efflorescences, et se rencontre surtout dans les couches tertiaires aux environs de volcans éteints ou actifs et sous forme de dépôts de sources sulfureuses. Dans ses gisements des terrains tertiaires il est ordinairement associé au Gypse, à l'Aragonite, à la Célestine et à la Calcite. Girgenti et Caltanisetta (Sicile), Corril (Andalousie), Aragon, province de Murcie (Espagne), Podovic (Croatie), Solfatares de Pouzzoles (près de Naples) et de Popocatepelt (Mexique).

Le S. est utilisé pour le soufrage des vignes, pour la fabrication des allumettes, de la poudre, du sulfure de carbone, etc.; on s'en sert aussi pour le blanchiment de la laine et de la paille; il a divers usages en pharmacie ; enfin une certaine quantité de S. est employée pour la fabrication de l'acide sulfurique. La consommation annuelle du S. dans le monde entier peut être évaluée à 500,000 tonnes, d'une valeur totale de 35 millions de francs.

Tellure. — Rhomboédrique, $a : c = 1 : 1,3293$; Petits cristaux prismatiques très rares; ordinairement massif ou en paillettes à structure grenue. Clivage parfait suivant $\varkappa$ {10$\bar{1}$0}, imparfait suivant $\varkappa$ {0001}. D. = 2 à 1/2; P. S. = 6,2. Éclat métallique, blanc d'étain; il est soluble dans l'acide nitrique et donne dans le tube ouvert un sublimé blanc (TeO_2) qui fond en gouttelettes incolores. Il contient souvent de l'or et du sélénium. Facebay (Transylvanie), Boulder City Colorado).

ARSENIC. — Rhomboédrique, $a : c = 1 : 1,4025$. Cristaux rares, offrent les faces du rhomboèdre avec la base. Clivage parfait suivant la base; cassant. D. = 3 à 4. P.S. = 5,727.

Se présente ordinairement en masses grenues, compactes, stalactitiques ou fibreuses et se détachant en couches concentriques. Blanc d'étain ou gris, devient gris-noir à l'air; volatil avec odeur d'ail. Donne sur le charbon un dépôt blanc, et un sublimé dans le tube fermé. Dans le tube ouvert il donne de l'anhydride arsénieux As_2O_3 qui se dépose dans les parties froides du tube sous la forme de petits cristaux incolores.

On le rencontre dans les filons métallifères des roches cristallines, avec les minérais d'argent, d'antimoine et de cobalt. Andreasberg (Hartz), Freiberg, Annaberg (Saxe), Wittichen (Forêt-Noire), Markirch (Alsace), Allemont (Vosges), Kongsberg (Suède), Chanarçillo (Chili).

L'A. sert à la fabrication de l'acide arsénieux et de certaines couleurs; il entre aussi dans la composition de quelques alliages. Le plomb de chasse, ainsi que l'étain servant à l'étamage des glaces contiennent une certaine quantité d'A.

L'Allemontite est un mélange d'Arsenic et d'Antimoine.

Antimoine. — Rhomboédrique, $a : c = 1 : 1,1,3233$. Les cristaux sont rares, on observe les faces de $\varkappa\{10\bar{1}1\}$, de $\varkappa\{0001\}$ et de $\varkappa\{10\bar{1}4\}$; ils sont maclés suivant $\varkappa\{01\bar{1}2\}$. Clivage parfait suivant la base; imparfait suivant $\varkappa\{01\bar{1}2\}$. Très fragile. D. = 3 à 3,5. P. S. = 6.714.

L'A. se présente généralement en masses grenues, compactes, fibreuses ou réniformes; il est blanc d'étain à éclat métallique, thermoélectrique surtout avec le Bismuth.

Dans le tube ouvert et sur le charbon il fond facilement en donnant un enduit blanc d'oxyde Sb_2O_3.

Cet élément n'est pas commun; il se rencontre dans les filons métallifères avec les minérais d'argent et d'arsenic (Andreasberg, Przibram, Allemont, Sala, Borneo).

BISMUTH. — Rhomboédrique, $a : c = 1 : 1,3035$. Cristaux rares, offrent les faces de $\varkappa\{10\bar{1}1\}$, $\varkappa\{0001\}$ et $\varkappa\{02\bar{2}1\}$. Clivage parfait suivant $\varkappa\{02\bar{2}1\}$ et suivant la base. D. = 2. P.S. = 9,73.

Se rencontre sous la forme de masses lamelleuses ou granuleuses, filiformes ou réticulaires, en ramifications figurant des feuilles de fougères. Blanc d'argent rougeâtre.

Thermoélectrique et diamagnétique. Fusible à la bougie; émet sur le charbon des fumées qui laissent une aréole jaune. Se dissout dans l'acide chlorhydrique concentré. Versée dans l'eau cette solution donne un précipité blanc abondant.

Le B. accompagne les minerais de cobalt et de nickel dans les roches cristallines. Schneeberg, Marienberg, Annaberg (Saxe), Joachimsthal (Bohême), Cornouailles, Brodbo, Fahlun (Suède), Copiapo (Chili).

C'est surtout à l'état natif qu'on rencontre le B. dans la nature. Ce corps entre dans la composition de quelques alliages très fusibles; il est employé dans les batteries thermoélectriques; quelques-uns de ses sels sont utilisés pour la préparation de fards, de certains médicaments, etc. L'oxyde de B. communique au verre des propriétés spéciales. La valeur du B. est d'environ vingt francs le kilogramme.

Étain. — Tétragonal; rare. Guanaxuato (Mexique), Cornouailles.

PLATINE. — (De l'espagnol *Plata* = argent.) — Cubique. Il se présente très-rarement en cristaux, qui offrent alors les faces {100}, ou {111}. Pas de clivage. D. = 4,5 à 5. P.S. = 17 à 18, P. pur et martelé = 21,23. On le trouve en petits grains gris d'acier blanchâtre, où le P. est allié au fer, à l'iridium, à l'osmium. Infusible, soluble dans l'eau régale, parfois magnétique.

On trouve souvent le P. avec la Chlorite et la Serpentine, dans des sables d'alluvion dits *sables platinifères* qui proviennent de la décomposition de Gabbros anciens. Il est associé à d'autres minéraux de son groupe, à l'Or, la Chromite, la Magnétite, le Zircone; quelquefois au Diamant. Colombie, Brésil, Saint Domingue, Californie, Caroline, Bornéo, et surtout les deux versants de l'Oural.

Le P. sert à fabriquer des creusets, des capsules, des tubes et d'autres appareils employés dans les laboratoires de chimie; les chaudières dans lesquelles s'opère la concentration de l'acide sulfurique sont également en P. Une petite quantité de ce métal est employée en médecine dentaire, en bijouterie, en photographie, pour la peinture sur porcelaine, et pour la fabrication de lampes à incandescence. La production totale du P. est d'environ 6000 kilogrammes par an, ce qui représente une valeur de 9 à 10 millions de francs.

Dans les sables platinifères on trouve : l'**Iridium**, cubique. D. = 6 à 7. P.S. = 22,7; blanc d'argent tirant sur le jaune; contenant jusqu'à 20 °/₀ de Platine, insoluble même dans l'eau régale. Le **Palladium**, cubique, se présente en petits octaèdres ou en grains isolés. D. = 4 1/2, P.S. = 12; gris d'acier; donne dans l'eau régale une solution rouge; on le rencontre aussi en cristaux hexagonaux clivables suivant {10$\bar{1}$0}. (Brésil, Hartz). L'**Iridosmine**, hexagonale, $a : c = 1 : 1,4105$; en petits cristaux très aplatis, clivables suivant {0001}. D. = 7. P.S. = 9 1/2 à 21 1/2; blanc d'étain ou gris de plomb avec les nuances intermédiaires. Osmiure d'iridium (IrOs); insoluble dans l'acide nitrique, infusible au chalumeau.

Les alliages contenant 10 °/₀ d'Iridium sont plus durs et résistent mieux à l'action des acides que le Platine pur. L'acide osmique est employé pour la microscopie médicale. Le Palladium donne avec l'or et l'argent des alliages très précieux pour la construction d'instruments de mesure de haute précision; enfin l'amalgane de Palladium sert au plombage des dents.

Fer. — Les cristaux de F. artificiel et de F. météorique, appartiennent au système cubique; ils offrent les faces {111}. Clivage parfait suivant {100}; D. = 4,5;

P. S. = 7.88. Il est malléable, gris d'acier ou *noir de fer*, magnétique, fusible seulement à 1500°; attaquable par l'acide chlorhydrique.

Le plus grand nombre des blocs trouvés jusqu'ici ont les caractères du F. météorique; il existe cependant du F. tellurique, comme l'ont démontré en particulier les recherches d'Andrews, qui prouvent l'existence du F. natif dans le Basalte; on en a trouvé des masses énormes, dans le Basalte d'Ovifak à l'île Disco (Groenland). D'après une analyse de Wöhler, un échantillon d'Ovifak contient 46,6 °/₀ de fer; 40,2 °/₀ de Magnétite; 7,8 °/₀ de sulfure de fer; 3,7 °/₀ de matières charbonneuses.

Le F. météorique contient toujours du nickel (20 °/₀ et plus), en outre du chrome, du cobalt, du silicium, du phosphore, de l'hydrogène. Sa structure est

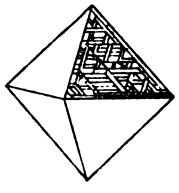


Fig. 412.

Fig. 413.

cristalline. Le F. météorique est ordinairement formé de lames parallèles aux faces de l'octaèdre, et plus ou moins nickelifères (fig. 412) donc plus ou moins attaquables; aussi l'attaque par les acides fait-elle naître à la surface de ce fer des figures en réseau caracteristiques qu'on désigne sous le nom de *figures de Widmanstaetten* (fig. 413).

Plomb. — Les cristaux qu'on obtient artificiellement sont cubiques; à l'état natif il est massif, filiforme, réticulaire, ramifié ou en paillettes; malléable et ductile; D. = 1 ¹/₂; P. S. = 11,3. On le trouve en masses assez grandes dans la Dolomie de Paysberg (Wermland).

CUIVRE. — Cubique; présente les formes $c = \{100\}$, $o = \{111\}$, $d = \{110\}$, $l = \{210\}$, fig. 414. Les faces dominantes sont celles de $\{100\}$ ou de $\{111\}$, mais les cristaux sont presque toujours déformés; ils sont souvent maclés suivant les faces de $\{111\}$. On n'observe pas de clivage. D. = 2 à 3; P.S. = 8,8. Le C. natif se présente ordinairement en plaques plus ou moins épaisses, en masses filiformes formant des réseaux dont les mailles sont rectangulaires (fig. 415 et 416) ou présentent des angles de 60° (fig. 417), selon que la croissance s'est opérée dans le sens des arêtes du cube ou des diagonales des faces de $\{111\}$. Malléable et ductile; couleur dite *rouge de cuivre*, les couleurs des parties superficielles sont souvent le jaune ou le brun. Le C. natif est ordinairement presque pur, fusible au Ch., facilement soluble dans l'acide nitrique.

On le trouve associé aux gites et aux filons du cuivre sulfuré ou oxydé, dans des Schistes cristallins, dans l'Argile ; en masses au Lac Supérieur, il y est au contact d'un Mélaphyre et d'un Grès, et on y a rencontré des blocs pesant plusieurs centaines de tonnes. On le trouve aussi à Rheinbreitenbach, en Cornouailles, en Australie etc.

Le C. natif fournit une grande partie du C. du commerce. Les usages du C. sont bien connus ; on l'emploie pour divers alliages (laiton, bronze, maillechort, bronze d'aluminium, etc.; pour la frappe de monnaies de billon, pour la fabrication d'ustensiles d'économie domestique, de tôles, de fils, etc. Quelques-uns de ses sels, le sulfate par exemple sont utilisés dans l'industrie, en pharmacie, etc. La pro-

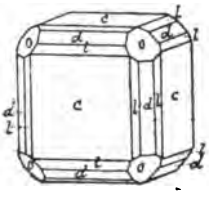


Fig. 414.

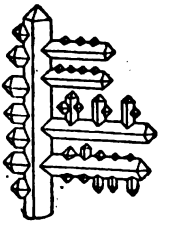


Fig. 415.

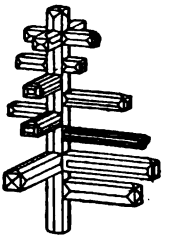


Fig. 416.

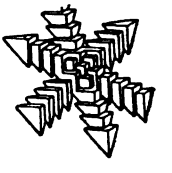


Fig. 417.

duction annuelle totale du C., en y comprenant celui qu'on tire d'autres minérais, peut être évaluée à 430,000 tonnes, d'une valeur de 510 millions de francs environ.

ARGENT. — Cubique. Offre généralement les faces {100}, quelquefois {111}, {110}, {210} et d'autres formes; macles fréquentes suivant {111}. L'A. se présente souvent en filaments capillaires ou en fibres étirées et réticulées, en plaques minces et courbes.

Pas de clivage. D. = 2,5 à 3. P.S. = 10 à 12. Blanc d'*argent*, ductile, facilement fusible, soluble dans l'acide nitrique. C'est le meilleur conducteur de l'électricité. Presque toujours mélangé d'Or, de Cuivre, de Fer, d'Arsenic et de Mercure.

On le trouve associé à ses propres minerais, à la Galène et à des combinaisons d'arsenic, en filons dont la gangue est formée par la Calcite, la Barytine, la Fluorine, le Quartz. Ces filons peuvent se trouver dans les Schistes cristallins (Erzgebirge, Forêt noire, Vosges, Kongsberg), mais on les observe aussi dans de véritables roches sédimentaires (Andreasberg, Przibram, Chanarçillo au Chili, Andes). Les filons sont aussi enchâssés dans des roches massives (Granite, Porphyre, Trachyte, Andésite) en Hongrie, au Mexique, en Bolivie. Ce qui est intéressant à constater au point de vue du mode de formation de l'A., c'est la présence de ce métal, associé au Cuivre et aux Zéolithes, dans les vacuoles du Mélaphyre du Lac Supérieur.

L'A. natif est un minerai très répandu et fournit une grande partie de l'A. du commerce. Les usages de l'A. sont basés sur les propriétés remarquables de ce métal, il est inaltérable à l'air, très ductile, possède une belle couleur blanche et prend un poli magnifique. On l'emploie pour la frappe des monnaies, pour la fabrication d'objets de parure et d'ornement, etc.; quelques sels d'argent sont utilisés en photographie, en pharmacie, dans les laboratoires de chimie. La consommation annuelle totale de l'A. est d'environ 6000 tonnes; le prix de l'A. a beaucoup baissé dans ces derniers temps; il est actuellement d'environ 100 francs le kilogramme.

Amalgame. — Cubique; cristaux bien développés et très riches en faces : {110}, {211}, {100}, {111}. Constitué par un mélange isomorphe de Mercure et d'Argent en différentes proportions. Blanc d'argent, cassure conchoïdale. D = 3,5; P. S. = 14. Palatinat, Almaden (Espagne), Chañarçillo (Chili).

Mercure. — Liquide à la température ordinaire, se solidifie à — 40° et forme alors des cristaux cubiques; P. S. = 13,596. Blanc d'étain; bout à 357°. Il est souvent argentifère. On le trouve en fines gouttelettes dans les gisements de Cinabre, plus rarement en quantités assez grandes dans des géodes de Quartz en Californie; dans le Calcaire à Almaden en Espagne et à Idria en Carinthie; enfin dans le Palatinat et au Pérou.

OR.— Cubique; présente généralement les formes $o = \{111\}$ et $h = \{100\}$; quelquefois {110}, {210}, {311}; macles fréquentes suivant {111}. Les

Fig. 418.

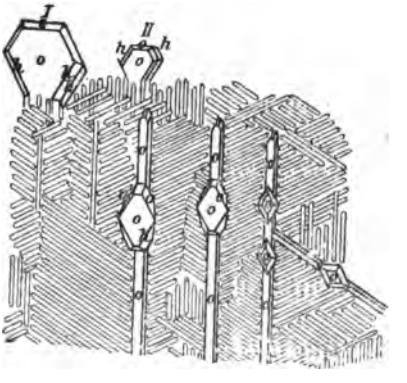


Fig. 419.

cristaux sont souvent déformés, difficiles à reconnaître, excepté dans les variétés argentifères. L'Or se présente souvent en plaques, en pépites ou en filaments capillaires et réticulés. La surface des plaques montre souvent un enchevêtrement régulier des filaments qu'on désigne sous le nom de *Tricotis* (fig. 418). Ces filaments sont de petits cristaux allongés suivant une diagonale d'une face octaédrique, et entrecroisés de façon à former un réseau à 60°; au bord de la plaque les cristaux sont plus grands et mieux formés (fig. 419). L'Or renferme souvent, à l'état de mélange isomorphe, une quantité d'argent

assez variable. Pas de clivage, cassure anguleuse. D = 2,5 à 3, variable avec la proportion d'argent; P.S. = 19,37.

L'Or est d'un jaune caractéristique dit *jaune d'or;* il est très malléable et très ductile; facilement fusible; il résiste à l'action des acides et n'est attaquable que par l'eau régale. Une réaction très simple permet de distinguer facilement l'Or pur de celui qui contient de l'argent, par l'emploi du sel de phosphore : dans le premier cas la perle reste transparente; dans le second elle devient jaune au feu de réduction.

Au point de vue du gisement on peut distinguer :

A. 1° Imprégnations d'Or dans les Schistes cristallins (Itacolumite). (Caroline du nord, Géorgie, Virginie, Brésil); plus rarement dans les Schistes paléozoïques (Tyrol).

2° Filonnets d'Or dans les Granites, Schistes cristallins, Schistes paléozoïques. L'Or y est presque toujours associé au Quartz ou à la Pyrite aurifère.

3° En filons, souvent avec minerais d'Argent, dans des roches volcaniques récentes, spécialement dans les Andésites amphiboliques et les Dacites. (Hongrie, Comstock-Lode (Nevada), Mexique, Bornéo, Victoria).

B. L'or d'alluvion, généralement accompagné de Magnétite, Diamant, Platine, Zircone, Grenat, Disthène, Corindon (Oural, Australie, Caroline du nord, Californie, Mexique, Chili, Brésil).

Peut-être se pourrait-il que l'Or des alluvions se soit, en partie, déposé de solutions, ce que semblent indiquer les grandes pépites, dont rien n'approche dans les filons, et dont la forme n'est pas celle de fragments roulés.

L'Or du commerce provient presque exclusivement de l'Or natif. La production totale a été en 1897, de 373 tonnes, représentant une valeur de 1300 millions environ.

IIe CLASSE. — COMBINAISONS DU SOUFRE, DU SÉLÉNIUM, DU TELLURE, DE L'ARSENIC, DE L'ANTIMOINE ET DU BISMUTH.

Presque tous les corps désignés sous le nom de minerais métalliques se rangent dans cette classe; la plupart d'entre eux possèdent des caractères externes rappelant ceux des métaux.

Groupe A. — Sulfures des Métalloïdes.

Réalgar. (De l'arabe : *Rahj-al-ghar* = crème des mines.) — Monoclinique $a : b : c = 1,4403 : 1 : 0,9729$, $\beta = 113°55'$, les faces le plus communément observées sont les suivantes : $m = \{110\}$; $l = \{210\}$; $b = \{010\}$; $P = \{001\}$; $n = \{011\}$; $s = \{11\bar{1}\}$ (fig. 420); $(110):(1\bar{1}0) = 105°34'$; $(210):(2\bar{1}0) = 66°44$; $(001):(011) = 23°58'$ $(001):(110) = 75°48'$. Clivage parfait suivant P et b. D = 1,5 à 2, P. S. = 3,4 à 3,6. P. A. || (010); double refraction forte et négative; B_a forme avec la trace

de (001) un angle de 77°, comme l'indique la figure 421 qui donne le plan de symétrie avec la position des axes optiques et des bissectrices.

Cristaux généralement trapus, couleur rouge aurore, poussière rouge cochenille. La rayure permet de distinguer facilement le R. de la Pyrargyrite et du Cinabre. Eclat gras. C. ch. : As_2S_2 (70 °/₀ As, 30 °/₀ S). Complètement volatilisable dans le matras en donnant un sublimé rouge ou jaune foncé.

On trouve le R. dans des filons avec la Stibine et des minerais plombifères et argentifères, dans l'Argile avec l'Orpiment. Felsöbanya, Andreasberg, Tajowa

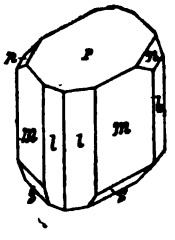


Fig. 420.

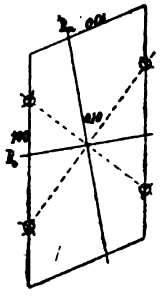


Fig. 421.

(Hongrie), Binnenthal (Valais); il se trouve à l'état sublimé au Vésuve et à la Solfatare, et aux Etats-Unis dans les dépôts de Norris Geyser Basin (National Park).

Le R. se forme accidentellement dans les produits métallurgiques et dans les incendies de houillères, Il se transforme à l'air en grains pulvérulents d'Orpiment : $3As_2S_2 + O_3 = 2As_2S_3 + As_2O_3$.

On utilise le R. dans l'industrie des couleurs et pour les feux d'artifices; il sert aussi comme minerai d'arsenic.

Orpiment. — (Du latin *Auripigmentum*). — Rhombique, $a:b:c = 0,829:1:1,118$. Les formes ordinaires sont $a = \{100\}$, $m = \{110\}$, $n = \{120\}$, $b = \{010\}$; $s = \{011\}$; $v = \{122\}$, (fig. 422). Cristaux courts, peu nets et à faces courbes. L'O. se présente ordinairement sous forme de masses lamellaires; et quelquefois en aggrégats réniformes et stalactitiques. Couleur jaune citron ou jaune orangé. Clivage parfait suivant $\{100\}$, les plans de clivage sont striés parallèlement à l'axe c. D = 1 1/2 à 2; P. S. = 3,4 à 3,5. P. A. ∥ $\{001\}$, Bissectrice obtuse ⊥ au clivage $a = 100$.

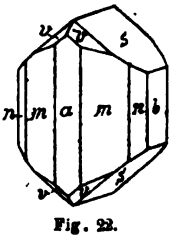


Fig. 22.

C. ch. : As_2S_3 (61 °/₀ As, 39 °/₀ S). Fusible et volatil; soluble dans l'eau régale et dans la potasse caustique, ce qui donne un moyen facile de le distinguer du Réalgar qui ne se dissout pas dans ce dernier réactif.

Dans le tube fermé fond et donne un sublimé jaune foncé ou rouge. Dans le tube ouvert fond avec dégagement d'anhydride sulfureux, et dépôt d'un enduit cristallin d'anhydride arsénieux.

Les gisements de l'O. sont les mêmes que ceux du Réalgar. On le trouve en

nodules dans les dépôts argileux de Tajowa, près Neusohl en Hongrie. Il existe en quantités assez importantes dans le Kurdistan; on le rencontre aussi aux Steamboat Springs dans l'État de Nevada, et dans le Yellowstone Park avec le Réalgar.

L'O. sert aux mêmes usages que le Réalgar.

STIBINE. — (De *Stibium*, nom latin de l'antimoine.) — Rhombique; $a : b : c = 0,9926 : 1 : 1,0179$; cristaux allongés suivant l'axe c (fig. 423 et 424), présentant les faces $m = \{110\}$, $b = \{010\}$, $d = \{111\}$, $r = \{121\}$; $s = \{113\}$; les principaux angles sont : (110) : ($1\bar{1}0$) = 89°34', le prisme est donc presque rectangulaire; (010) : (111) = 54°36'; (010) : (113) = 72°12'; (010) : (121) = 35°8'. Les cristaux sont rarement terminés. La S. se présente le plus souvent sous forme de longs prismes striés suivant l'axe vertical, ou en masses bacillaires ou aciculaires.

Clivage très parfait suivant {010}, les faces de clivage offrent un beau luisant et sont souvent striées horizontalement; clivage imparfait suivant (001).

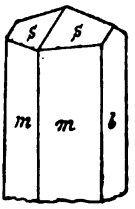


Fig. 423.

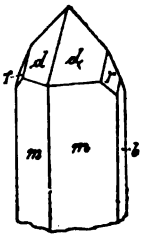


Fig. 424.

D = 2; P.S. = 4,6 à 4,7. Couleur gris de plomb ou gris d'acier; on observe parfois des couleurs irisées.

C. ch. : Sb_2S_3 (71,8 °/₀ Sb; 28,2 °/₀ S). La S. fond à la flamme d'une bougie; dans le matras elle donne un sublimé noir à chaud, rouge-jaunâtre à froid. Au Ch. elle fond très rapidement et communique à la flamme une légère teinte verte; elle se volatilise et donne sur le charbon un enduit blanc. Soluble à chaud dans l'acide chlorhydrique et dans la potasse caustique. L'acide nitrique l'attaque avec formation d'anhydride antimonieux.

On trouve la S. dans des filons avec le Quartz, ou avec d'autres minerais, principalement avec la Galène et les minerais argentifères; quelquefois elle se présente en couches intercalées dans le *Culm;* Andreasberg (Hartz), Arnsberg (Westphalie), Felsöbanya, Bornéo. Depuis quelques années de très grands cristaux de S. nous parviennent du Japon (Ichinokawa à l'île Schikoku).

La S. est pour ainsi dire le seul minerai qui serve à l'extraction de l'antimoine. La production totale de la S. dans le monde entier peut être evaluée à 20,000 tonnes environ par an.

Bismuthine. — Rhombique, $a : b : c = 0,9680 : 1 : 0,985$. La B. est isomorphe

avec la Stibine et lui ressemble beaucoup, mais sa teinte est notablement plus claire que celle de ce dernier minéral, elle est aussi beaucoup plus rare que lui. Cristaux aciculaires. D = 2 à 2 1/2. P.S. = 6 1/2. La B. se dissout facilement dans l'acide nitrique; cette solution donne un précipité blanc quand on la verse dans l'eau.

C. ch. : $Bi_2 S_3$ (81, 2 °/₀ Bi, 18,8 °/₀ S). On rencontre la B. dans le Hartz, en Cornouailles, dans le Cumberland, en Suède, en Bolivie.

Guanajuatite. — Rhombique; D = 2 1/2 à 3 1/2, P.S. = 6 1/2. $Bi_2 Se_3$. Guanajuato (Mexique).

Tétradymite. — (Du grec τετράδυμος = macle de quatre cristaux); Rhomboèdrique. $a : c = 1 : 1,5871$. Cristaux petits, peu nets; formes dominantes $\{30\bar{3}1\}$, $\{0001\}$; macle de 4 cristaux suivant $\{10\bar{1}1\}$; clivage parfait suivant $\{0001\}$. D = 1 à 2; P.S. = 7 1/2. Blanc d'étain ou gris d'acier. C. ch. : $Bi_2 Te_2 S$ (59 °/₀ Bi, 36 1/2 °/₀ Te, 4 1/2 °/₀ S). La T. est facilement fusible au Ch.; elle donne sur le charbon un enduit blanc et jaune. Soluble dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre. Schemnitz (Hongrie), Washington (Caroline du nord).

MOLYBDÉNITE. — (Du grec μολύβδαινα = balle de plomb.) — Hexagonal, $a : c = 1 : 1,908$. Ses formes et son aspect rappellent le Graphite; les lamelles sont hexagonales et montrent trois systèmes de stries se coupant sous un angle de 60°, et révélant la présence de trois individus maclés. Clivage parfait suivant $\{0001\}$. Eclat métallique très vif. La M. est très flexible, sans élasticité; elle est rayée par l'ongle et laisse un trait bleu gris sur le papier, verdâtre sur la porcelaine, ce qui permet de la distinguer du Graphite.

La M. est d'un gris de plomb bleuâtre; elle est grasse au toucher. D. = 1 à 1 1/2; P.S. = 4,6 à 4,9. C. ch. : MoS_2 (59 °/₀ Mo, 41 °/₀ S). La M. dégage de l'anhydride sulfureux dans le tube ouvert et donne sur le charbon une aréole jaune. Infusible au chalumeau, colore la flamme en vert clair; l'acide nitrique la décompose avec formation d'un dépôt blanc pulvérulent.

On la trouve en grains ou en masses foliacées dans le Granite, la Syénite, le Porphyre quartzifère, les Calcaires cristallins, dans le Gneiss, associée à la Cassitérite, en Silésie, en Cornouailles, en Scandinavie, dans l'Oural, au Groenland.

La M. est le minerai de molybdène le plus important. La mine d'Eckholmen (Suède), la seule qui soit exploitée pour la recherche de ce minéral, en fournit par an 4600 kilogrammes, dont la valeur est de 92000 francs.

Groupe. B. — Sulfures des Métaux.

1. — Première Division.

Cette division comprend les sulfures de la formule générale R″Q, R″ = Ca, Zn, Fe, Ni, Mn, Cd; Q = S, As, Sb. *On y observe une série cubique et une série hexagonale.*

BLENDE. — (De l'allemand *blenden* = éblouir, à cause de son éclat.) Cubique, tétaédrique. — Les cristaux offrent des combinaisons des deux tétraèdres $x\{111\}$ et $x\{1\bar{1}1\}$ avec le cube (fig. 425), et du dodécaèdre rhomboïdal $d = x\{110\}$ avec le dodécaèdre deltoïdal $i = x\{311\}$ (fig. 426); les faces des deux tétraèdres présentent des particularités physiques (fig. 425) qui les distinguent nettement; les faces du cube sont striées suivant l'une des diagonales (fig. 425), et celles de $x\{311\}$ sont ordinairement courbes. Macles fréquentes suivant (111), par juxtaposition (fig. 427, cristal maclé avec lamelles hémitropes) ou enfin par pénétration (fig. 428).

Clivage parfait suivant le dodécaèdre rhomboïdal $\{110\}$. D = 3 1/2 à 4; P.S. = 4 à 4,2. Cassure conchoïdale. Eclat adamantin ou, plus rarement, gras. Indice de réfraction n = 2,37 (Na). Transparente, translucide ou opaque. Rarement incolore; le plus souvent colorée en vert, jaune de miel, brun ou noir. La couleur de la poussière est toujours claire. Phosphorescente par frottement ou par élévation de température.

C. ch. : ZnS (67 °/. Zn, 33 °/. S). La B. contient aussi des traces de cuivre, d'argent, d'antimoine, de manganèse, de césium, de gallium, etc., souvent beaucoup de cadmium (jusque 3 1/2 °/. dans la Przibramite) et surtout du fer dont la proportion atteint 15 °/. dans la Marmatite.

La B. décrépite fortement au Ch. et ne fond que sur les bords, elle est

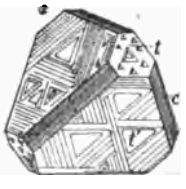


Fig. 425.

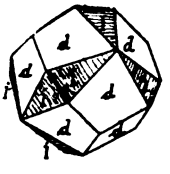


Fig. 426.

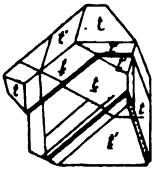


Fig. 427.

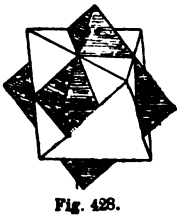


Fig. 428.

soluble dans l'acide chorhydrique concentré et chaud; l'acide nitrique la décompose avec dépôt de soufre.

La B. se présente en cristaux, en masses lamelleuses, quelquefois en aggrégats stalactitiformes ou réniformes à texture grenue ou finement fibreuse. Elle est ordinairement associée à la Galène, plus rarement à la Pyrite, à la Chalcopyrite, à la Calcite, au Quartz, etc.

On la trouve 1° en filons, Hartz, Erzgebirge, Ems, Przibram; 2° en amas dans le Calcaire, la Dolomie et la Limonite, Stolberg, Brilon (Westphalie), Silésie, Picos (Espagne); on observe dans cette dernière localité de très beaux cristaux transparents; 3° en gîtes, dans le Gneiss : Ammeberg (Suède), dans la Dolomie : Binnenthal.

La B. est un minerai important pour l'extraction du zinc, C'est aussi le seul minéral utilisé par l'industrie pour l'extraction du cadmium.

L'**Oldhamite** CaS, l'**Alabandine** MnS, la **Troïlite** FeS, et la **Pentlandite** (Fe,Ni)S sont isomorphes avec la Blende.

Millérite.— Hexagonale,rhomboédrique; cristaux capillaires suivant le prisme $\{11\bar{2}0\}$, et terminés par le rhomboèdre $x\ \{10\bar{1}1\}$; $(10\bar{1}1) : (0\bar{1}11) = 35°52'$; les cristaux sont souvent enchevêtrés de manière à former une sorte de feutre. D. = 3 1/2; P.S. = 5 1/2. Eclat métallique, jaune de laiton. C. ch. : Ni S (64 1/2 °/₀ Ni). Fond en une globule magnétique, donne dans l'acide nitrique une solution verte. On rencontre la M. dans les filons nickelifères et cobaltifères; associée avec des minerais d'argent dans l'Erzgebirge; avec de la Siderite et de la Chalcopyrite dans la Houille à Sarrebrück; dans le Calcaire à St-Louis (Missouri).

Greenockite. — Hexagonale, hémimorphe (fig. 429). Se présente ordinairement en enduits très minces. D. = 3; P. S. = 5; jaune de miel, éclat adamantin. C. ch. : CdS. Przibram, Schneeberg.

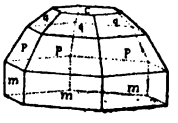


Fig. 429.

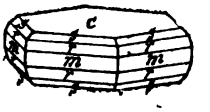


Fig. 430.

Pyrrhotine. — Hexagonale; cristallise en prismes aplatis (figure 430) $m = \{10\bar{1}0\}$; $r = \{40\bar{4}1\}$, $s = \{10\bar{1}1\}$; $(0001) : (10\bar{1}1) = 45°8'$. Les cristaux nets sont très rares; la P. se présente ordinairement en masses compactes, grenues ou lamellaires. Clivage imparfait suivant $\{10\bar{1}0\}$. D. = 3 1/2 à 4 1/2. P.S. = 4,4 à 4,7. Eclat métallique; jaune de bronze dans les cassures fraîches, ou brun de tombac. Poussière noire. Magnétique.

C. ch. : FeS, contenant peut-être un peu de FeS_2 ce qui expliquerait l'excès de soufre que signalent les analyses; quelques échantillons renferment jusqu'à 5 °/₀ de nickel. La P. fond au Ch. en un globule magnétique; elle se dissout dans l'acide chlorhydrique avec dégagement d'hydrogène sulfuré et dépôt de soufre.

La P. se trouve en imprégnations le long de certaines salbandes et en lentilles dans les Schistes cristallins (Scandinavie, Bodenmais (Bavière), Tennessée); dans des filons métallifères, dans des gîtes de fer carbonaté, dans les calcaires métamorphiques, en concrétions dans les roches éruptives basiques.

Ce minéral sert à la fabrication de l'acide sulfurique et à l'extraction du nickel.

NICKELINE. — Hexagonale. Les cristaux très rares, présentent la pyramide $\{10\bar{1}1\}$ et la base. $(10\bar{1}1) : (01\bar{1}1) = 93°10'$. La N. est ordinairement massive ou finement divisée. Cassante, D. = 5 1/2; P.S. = 7 1/2. Rouge de cuivre clair, poussière noire. C. ch.: NiAs (43,6 °/₀ Ni ; 56,4 °/₀ As); une petite quantité d'arsenic est parfois remplacée par de l'antimoine. Au Ch. dégage de l'anhydride arsénieux et fond en un globule blanc très cassant. Se dissout dans l'acide nitrique concentré ainsi que dans l'eau régale, avec dépôt d'anhydride arsénieux.

La N. se trouve associée aux minerais de nickel et de cobalt; Andréasberg (Hartz), Erzgebirge, Sangershausen (filons du « *Kupferschiefer* »), Richelsdorf (Hesse), mine La Rioza (Argentine).

La N. est un minerai important pour l'extraction du nickel. Les minéraux rares : **Wurtzite** (Zn, Fe) S, **Erythrozincite** (Zn, Mn) S, **Arite** Ni (As, Sb), **Breithauptite** NiSb, sont isomorphes avec les trois minéraux précédents.

2. — Deuxième Division.

Cette division se compose des sulfures répondant à la formule générale $R''Q_2$; $R'' =$ Fe, Mn, Ni, Co, Pt, Ru; Q = S, As, Sb. *Elle comprend une série cubique et une série rhombique.*

Hauerite. — Cubique, pyritoédrique. Faces de $\pi\{111\}$, de $\pi\{100\}$ et de $\pi\{210\}$; se présente parfois en masses bacillaires. Clivable suivant $\{100\}$. D. = 4; P.S. = 3 1/2. C. ch. : MnS_2. Radusa (Sicile).

PYRITE. — (De πυρίτης, nom grec de ce minéral). — Cubique, pentagonale.

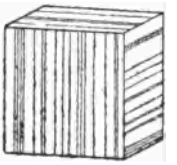


Fig. 431.

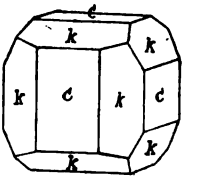


Fig. 432.

Les formes ordinaires sont $c = \pi\{100\}$, $o = \pi\{111\}$, $k = \pi\{210\}$; elles peuvent donner lieu à des combinaisons d'aspect très varié (fig. 432 et 433).

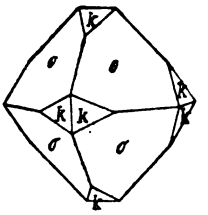


Fig. 433.

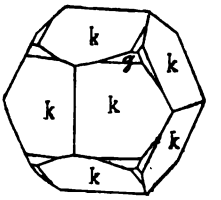


Fig. 434.

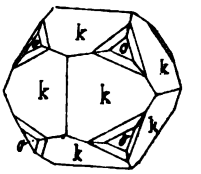


Fig. 435.

On observe aussi quelques dyakisdodécaèdres, par exemple $g = \pi\{421\}$ (fig. 434), et un autre : $\pi\{321\}$ dont les faces font partie des zones $o : k$ (fig 435). Les faces du cube sont souvent striées comme le montre la fig. 431. Macles par pénétration suivant $\{110\}$ (fig 436, macle de la *croix de fer*). Clivage très peu distinct suivant $\{100\}$; cassure conchoïdale D. = 6; P.S. = 5. La P. est jaune de laiton, sa poussière est brun noirâtre ou grisâtre; ce minéral présente l'éclat métallique.

C. ch : FeS_2 (46,7 °/₀ Fe; 53, 3°/₀ S.); la P. contient quelquefois de l'or, de l'argent et surtout du cuivre. Dans le matras elle donne un sublimé de soufre, dégage un peu d'anhydride sulfureux et laisse un résidu magnétique.

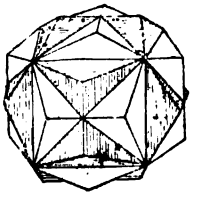


Fig. 436.

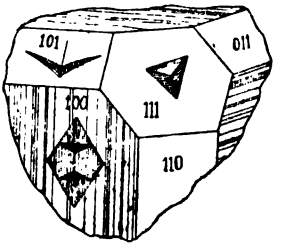


Fig. 437.

Elle est insoluble dans l'acide chlorhydrique, mais décomposable par l'acide nitrique; sous l'influence des agents atmosphériques elle se transforme facilement en Hématite brune. Lorsqu'on l'attaque par l'eau régale, la P. montre sur les faces de {100}, de {111} et de {110}, des figures de corrosion très caractéristiques (fig. 437).

La P. se présente très souvent en cristaux, mais on la rencontre aussi en masses irrégulières, en aggrégats sphériques, réniformes ou stalactitiques; elle est fréquemment associée à d'autres sulfures, quelquefois aussi à des minéraux oxydés, par exemple à la Cassitérite (SnO_2), à la Magnétite (Fe_3O_4), à l'Oligiste (Fe_2O_3), etc. On la rencontre aussi très souvent dans les Schistes cristallins, et en imprégnations et concrétions dans des Calcaires, dans des Lignites, dans la Houille et d'autres matières d'origine organique. La P. se trouve comme produit secondaire dans quelques roches éruptives. Ile d'Elbe, Traversella (Piémont), St Gotthard, Binnenthal, Freiberg, Fahlun, etc.

La P. sert à la fabrication de l'alun, de l'acide sulfurique, etc.; les résidus du grillage sont utilisés dans l'industrie des couleurs. Les P. aurifères fournissent une certaine quantité d'or au commerce.

COBALTINE. — Cubique, pentagonale; souvent en cristaux très nets, semblables à ceux de la Pyrite (fig. 432 et 433). Clivage parfait suivant {100}. D. = 5 ½; P.S. = 6. Eclat métallique; blanc d'argent tirant sur le gris, poussière gris-noirâtre. Thermoélectrique.

C. ch. CoAsS, (35.5 °/₀ Co; 45,2 °/₀ As; 19,3 °/₀ S.); la C. contient presque toujours un peu de fer. Dans le matras elle reste inaltérée; dans le tube ouvert, et au Ch. elle donne de l'anhydride arsénieux et de l'anhydride sulfureux; elle est soluble dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre et d'anhydride arsénieux; cette solution est rouge.

On la trouve en cristaux avec la Pyrite et la Chalcopyrite à Tuna-

berg (Suède), à Skutterud (Norwège), à Siegen (Westphalie). et en masses compactes à Daschkessan (Caucase).

SMALTINE. — Cubique, pentagonale; les formes les plus fréquentes sont : $\pi\{100\}$ et $\pi\{111\}$. La S. se présente ordinairement en masses compactes ou réticulées. Clivages peu distincts suivant les faces du cube et de l'octaèdre. D. = 5 ½; P.S. = 7. Eclat métallique; couleur blanc d'étain passant au gris d'acier, on observe parfois des couleurs irisées; poussière gris-noir.

C. ch. : $CoAs_2$ (71,8 °/₀ As; 28,2 °/₀ Co); le cobalt est toujours partiellement remplacé par une quantité variable de fer et de nickel. La S. donne un sublimé d'arsenic et d'anhydride arsénieux dans le tube ouvert. Au Ch. elle fond facilement en un globule magnétique, blanc ou gris. Elle est soluble dans l'acide nitrique avec dépôt d'anhydride arsénieux.

Erzgebirge, Bieber (Hesse), Allemont (Dauphiné), Dobschau (Hongrie).

La S. et la Cobaltine sont les minerais les plus importants pour l'extraction du cobalt, et surtout pour la préparation du smalt. Ces minéraux fournissent aussi une certaine quantité d'arsenic comme produit secondaire.

Chloanthite. — Possède les mêmes propriétés géométriques et physiques que la Smaltine. C. ch. : $NiAs_2$ (28,2 °/₀ Ni; 71,8 °/₀ As); elle renferme toujours une certaine quantité de cobalt et de fer; elle donne avec l'acide nitrique une solution verte. On trouve la C. dans les mêmes gisements que la Smaltine.

La **Gersdorffite** NiAsS, la **Korynite** Ni (As, Sb) S, l'**Ullmannite** NiSbS, la **Willyamite** (Ni, Co) SbS, la **Kallilithe** Ni (Sb, Bi) S, la **Sperrylithe** $PtAs_2$ et la **Laurite** RuS_2 sont isomorphes avec les cinq minéraux précédents.

MARCASITE. — Rhombique, $a : b : c = 0,7623 : 1 : 1,2167$. Formes ordinaires : $m = \{110\}$, $l = \{011\}$, $g = \{101\}$, $d = \{013\}$, $c = \{001\}$, $r = \{111\}$, (fig. 438 et 439). La base $\{001\}$ est ordinairement striée comme

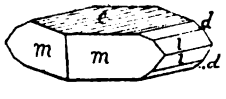


Fig. 438.

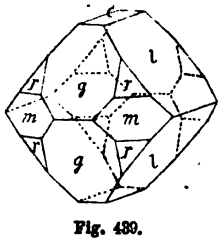


Fig. 439.

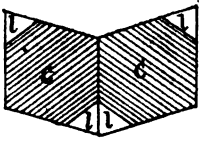


Fig. 440.

le montre la figure 438. Les macles sont très fréquentes, surtout suivant une face du prisme m. La figure 440 donne une projection orthogonale d'une macle de ce genre sur la face (001); à chacun des cristaux maclés peut s'accoler un autre cristal, et si alors, par suite de l'accroissement, les angles

rentrants viennent à disparaître (fig. 441), la macle prend un aspect caractéristique qui a fait donner à cette variété minérale le nom de *Sperkise*, de l'allemand *Speerkies* (fig. 442). Clivage distinct suivant $m = \{110\}$; traces de clivage suivant $l = \{011\}$. Cassure inégale; D. = 6 à 6 ½; P.S. = 4,8. La M. est dimorphe avec la Pyrite mais moins stable que ce dernier minéral.

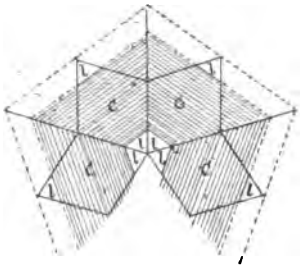


Fig. 441.

Fig. 442.

A l'air elle se transforme facilement en sulfate ferreux. Ses caractères chimiques sont les mêmes que ceux de la Pyrite.

La M. se présente en cristaux, en plaques dentelées (*Pyrite crêtée*), en boules à structure rayonnée (*Strahlkies*), ou enfin en masses compactes à éclat semi-métallique (*Leberkise*, de l'allemand *Leberkies*); on la trouve dans les gites métallifères (Freiberg en Saxe, Devonshire, Przibram); dans des Argiles et des Lignites (Altsattel en Bohême), dans la Craie (Champagne, Folkestone en Angleterre).

MISPICKEL. — Isomorphe avec la Marcasite; $a : b : c = 0,671 : 1 : 1,189$. Formes habituelles : $m = \{110\}$; $i = \{014\}$; $g = \{101\}$; $l = \{011\}$; $n = \{012\}$; $k = \{031\}$; (fig. 443, 444 et 445); les prismes de profil sont souvent striés parallèlement à leur arête de combinaison. Macles par péné-

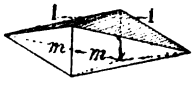


Fig. 443.

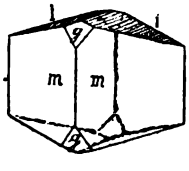


Fig. 444.

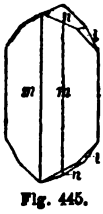


Fig. 445.

tration, suivant une face de g (fig. 446) ou suivant une face de m (fig. 447). Clivages distincts suivant $m = \{110\}$. Cassure inégale; minéral cassant. D. = 5 ½; P.S. = 6. Eclat métallique; la couleur est le blanc d'argent passant au gris d'acier pâle, poussière noire.

C. ch. : FeAsS (46 °/₀ As; 34,4 °/₀ Fe; 19,6 °/₀ S.); quelques échantillons

renferment cependant un excès de soufre, d'autres contiennent du nickel, du bismuth, du sélénium, de l'or, de l'argent et surtout du cobalt. Au Ch. le M. fond en un globule magnétique noir; il donne dans le matras un sublimé d'abord rouge, puis brun jaunâtre, et se dissout dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre et d'anhydride arsénieux.

Le M. se trouve surtout dans les gites métallifères des roches cristallines, associé aux minerais d'argent, de cobalt et de nickel; Freiberg (Saxe),

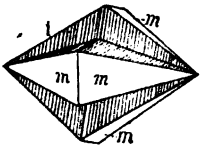


Fig. 446.

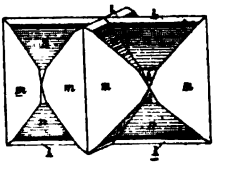


Fig. 447.

Mitterberg (Salzbourg), Asch (Bohême), Sala (Suède), Cornouailles (dans les gîtes stannifères); on rencontre quelquefois de beaux cristaux de M. dans le Calcaire (Auerbach), dans la Dolomie (Binnenthal) et dans la Serpentine (Reichenstein, Silésie).

Le M. sert à l'extraction de l'arsenic, à la fabrication de l'anhydride arsénieux et du sulfure d'arsenic; quelques échantillons de M. fournissent une petite quantité d'argent.

Le **Glaucodot** (Fe, Co) AsS, la **Löllingite** $FeAs_2$, la **Wolfachite** Ni (As, Sb, S)$_2$, la **Safflorite** (Co, Fe, Ni) As_2 et la **Rammelsbergite** (Ni, Co, Fe) As_2 sont isomorphes avec la Marcasite et le Mispickel.

On peut placer à la fin de cette division les minéraux suivants : la **Skutterudite** $CoAs_3$, la **Domeykite** Cu_3As et la **Dyskrasite** Ag_3Sb.

3. — Troisième Division.

Cette division comprend les combinaisons de la formule générale R″Q; R″ = Pb, Ag_2, Cu_2, Au_2; Q = S, Se, Te. *Nous constatons ici encore une série cubique et une série rhombique.*

GALÈNE. — (Du grec γαλήνη = plomb). — Cubique, formes ordinaires : $c = \{100\}$; $o = \{111\}$; $d = \{110\}$ (fig. 448 et 449); on observe aussi quelques icositétraèdres $\{hll\}$, et surtout des triakisoctaèdres $\{hhl\}$; par exemple $v = \{221\}$, $s = \{331\}$, (fig. 450). Macles fréquentes suivant une face de $\{111\}$ (fig. 451), ordinairement aplaties suivant le plan de macle. Clivage très parfait suivant $\{100\}$; cassure conchoïdale. D. = 2 ½; P.S. = 7 ½. Eclat métallique, couleur gris de plomb, poussière gris-noirâtre.

C. ch., PbS (86,6 °/₀ Pb; 13,4 °/₀ S); contient souvent une certaine quantité

d'argent, qui peut même atteindre 1 °/₀, ainsi que du zinc, du sélénium et du fer. Au Ch. la G. décrépite, dégage de l'anhydride sulfureux et fond. Elle est soluble dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre et de sulfate de plomb; soluble à chaud dans l'acide chlorhydrique.

La G. se présente en cristaux, en masses grenues et en aggrégats à structure rayonnante *(Bleischweif)*; on la trouve, 1° en filons dans des roches anciennes et dans des Schistes cristallins, avec Blende, Chalcopyrite, Bournonite, Quartz, Calcite, Barytine; la G. des filons présente quelquefois une teneur élevée en argent, par exemple dans le Hartz, à Przibram, etc.

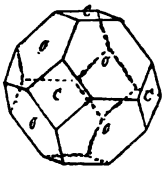


Fig. 448.

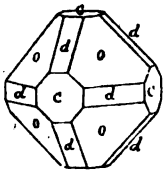


Fig. 449.

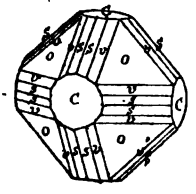


Fig. 450.

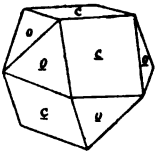


Fig. 451.

2° (G. non argentifère) dans des fissures et des géodes des Calcaires et des Dolomies, avec Blende, Calamine, Limonite; par exemple près d'Aix-la-Chapelle, Brilon (Westphalie), Derbyshire, Raibl (Carinthie), etc.

3° En concrétions arrondies, ou comme ciment de certains grès à Commern et à Mechernich (Prusse Rhénane).

La G. est le principal minerai du plomb. La production totale, en minerai de plomb, pour le monde entier est de 1.100.000 tonnes environ par an; on en extrait plus de 650.000 tonnes de métal brut. La G. de quelques mines fournit aussi une certaine quantité d'argent.

ARGYROSE. — (Du grec ἄργυρος = argent). — Cubique; les formes les plus communes sont : {100} et {111}. Les cristaux sont souvent déformés par allongement et constituent des masses réticulées; quelquefois l'A. est filiforme, d'autrès fois encore elle est terreuse. On observe des macles par pénétration suivant (111) (fig. 268). Traces de clivages suivant {100} et {101}. L'A. est malléable et se laisse couper au couteau. D. = 2 ½; P.S. = 7 ½. Eclat métallique faible; couleur gris de plomb noirâtre.

C. ch., Ag_2S (87,1 °/₀ Ag). Au Ch. ce minéral fond, bouillonne en dégageant de l'anhydride sulfureux et donne un bouton d'argent. Soluble dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre.

L'A. est un minerai d'argent très important; on la trouve dans des filons métallifères, surtout dans ceux qui traversent des Schistes cristallins et des roches éruptives, dans l'Erzgebirge (Freiberg, Schneeberg), à Schemnitz

(Hongrie), à Kongsberg (Norvège), au Mexique et dans l'Amérique du Sud; elle abonde dans le filon dit « Comstock-Lode » au Nevada (Amérique du Nord).

La **Clausthalite** PbSe, l'**Altaïte** PbTe, l'**Ialpaïte** (Ag, Cu)$_2$S, l'**Aguilarite** Ag_4 (S, Se), la **Naumannite** (Ag_2, Pb) Se, l'**Eukairite** (Cu. Ag)$_2$Se et la **Hessite** Ag_2Te sont isomorphes avec la Galène et l'Argyrose.

CHALCOSINE. — (Du grec χαλκός = Cuivre). — Rhombique; $a : b : c =$ 0,582 : 1 : 0.971. Ses formes les plus fréquentes sont $m = \{110\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $s = \{113\}$, $r = \{023\}$ (fig. 452 et 453). (110) : ($1\bar{1}0$) = 60°25'; (010) : (023) = 57°6'. Les faces c, r, b sont souvent striées parallèlement à leur arête de combinaison. Macles très fréquentes suivant (110), plus rares suivant (112). Clivage imparfait suivant {110}; Cassure conchoïdale. D. = 2 ½; P.S. = 5 ½. La C. est gris de plomb noirâtre, terne; elle présente quelquefois des couleurs irisées.

C. ch. : Cu_2S (79,8 °/₀ Cu). Une partie du cuivre est quelquefois remplacée

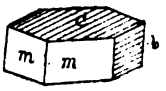


Fig. 452.

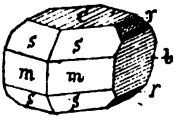


Fig. 453.

par du fer. Au Ch. la C. communique à la flamme une coloration bleuâtre; elle fond facilement au feu d'oxydation, et donne avec la soude un bouton de cuivre. Soluble dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre.

La C. se présente en cristaux prismatiques aplatis, mais plus souvent en masses compactes, en plaques et en imprégnations; elle est très répandue; on la trouve dans les gîtes métallifères en Cornouailles, à Bristol (Connecticut), à Freiberg, et en quantités importantes dans le *Kupferschiefer* de Mansfeld.

C'est un minerai de cuivre très recherché.

A la Chalcosine se rattachent la **Stromeyerite** (Cu, Ag_2) S; l'**Akanthite**, Ag_2S la **Berzélianite** Cu_2Se; la **Petzite** (Ag, Au)$_2$ Te; ces minéraux sont probablement tous isomorphes avec elle.

4. — Quatrième Division.

Cette division comprend les combinaisons de la formule R''Q; R'' = Hg, Cu; Q = S, Te, Se. *On y distingue une série cubique et une série hexagonale.*

Métacinnabarite ; cubique, modification dimorphe du Cinabre HgS. P.S. = 7,7. se présente à l'état massif ou en cristaux noirs. Idria (Carinthie), Lake C^y (Californie).

Les autres minéraux de la série cubique sont très rares; ce sont : l'**Onofrite** Hg (S, Se), la **Tiemannite** HgSe et la **Coloradoite** HgTe.

CINABRE. — (Du grec κιννάβαρις).— Appartient à la tétartoédrie trapézoédrique du système hexagonal : $a : c = 1 : 1,145$. Ses formes ordinaires sont : $r' = \kappa\tau \{01\bar{1}1\}$; $m = \kappa\tau \{10\bar{1}0\}$; $i' = \kappa\tau \{02\bar{2}5\}$; $c = \kappa\tau \{0001\}$; (fig. 454). Le cristal prismatique fig. 455 montre outre m et c qui dominent, les rhomboèdres $r = \kappa\tau \{10\bar{1}1\}$; $g' = \kappa\tau \{01\bar{1}2\}$; $n' = \kappa\tau \{02\bar{2}1\}$, et le trapézoèdre positif gauche $x = \kappa\tau \{8\bar{1}\bar{7}3\}$; $(10\bar{1}1) : (0\bar{1}11) = 108°12'$. On observe des macles par pénétration suivant c (fig. 456, $n = \kappa\tau \{20\bar{2}1\}$). — Clivage parfait suivant m; cassure inégale. D. = 2; P.S. = 8. La couleur du C. est le rouge cochenille passant au rouge pourpre; sa poussière est rouge pourpre; il offre un éclat adamantin, et il est transparent ou translucide. Opt. $+ n_\omega = 2,854$, $n_\varepsilon = 3,199$ pour le rouge. Polarisation rotatoire très énergique, 16 fois plus forte que celle du Quartz.

C. ch. : HgS (86,2 °/₀ Hg). Volatil; donne un sublimé noirâtre dans le tube

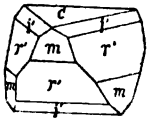


Fig. 454.

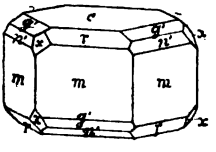


Fig. 455.

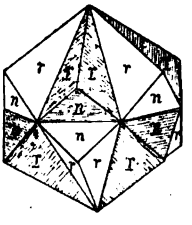


Fig. 456.

fermé, se décompose partiellement dans le tube ouvert en dégageant de l'anhydride sulfureux et des vapeurs de mercure; facilement réductible par la soude dans le matras, soluble dans l'eau régale.

Le C. se présente en cristaux, en incrustations, en masses cristallines, granuleuses, compactes ou terreuses; on le trouve en filonnets et en imprégnations (*Stockwerks*) dans les Grès siluriens près d'Almaden (Espagne), dans des Schistes très bitumineux et des Dolomies près d'Idria (Carinthie), dans le terrain permien du Palatinat, en Californie (New-Almaden) dans des roches métamorphiques et dans certains dépôts d'eaux thermales (*Sulphur-Banks*).

Le C. est le seul minérai important du mercure; la production annuelle de ce métal dans le monde entier peut être évalué à environ 4000 tonnes, d'une valeur de 15 à 20 millions de francs.

Covelline. — Ce minéral se présente ordinairement à l'état massif, rarement en cristaux rhomboédriques. P.S. = 4 ³/₁₀. La C. est bleu indigo foncé, sa poussière est noire. C. ch. : CuS. Leogang (Salzbourg), Vésuve, Chili.

Nous plaçons à la suite de cette division les minéraux suivants :

La **Sylvanite** monoclinique, cristaux aplatis ou allongés et groupés de façon à

imiter des caractères d'écriture, ce qui a fait donner à la S. le nom de *Tellure graphique* sous lequel on la désigne quelquefois. Clivage parfait suivant (010). Couleur blanc d'étain passant au jaune de laiton pâle. D. = 1 ½ P.S. = 8. C. ch. : (AuAg) Te_4. Offenbanya, Nagyag (Hongrie). La **Nagyagite**. $Au_2 Sb_2 Pb_{10} Te_6 S_{12}$; la **Lautite**, CuAsS; et la **Krennerite** (Au, Ag) Te_2.

Groupe C. — Sulfosels.

Nous rangeons dans ce groupe les combinaisons du soufre désignées sous le nom de sulfosels, qui renferment une sulfobase (combinaison du soufre et d'un métal, par exemple le sulfure de cuivre) et un sulfacide (combinaison du soufre et d'un métalloïde, par exemple le trisulfure d'arsenic). La combinaison Fe_2S_3 *peut jouer avec des bases puissantes le rôle de sulfacide.*

I. — Première Division.

Sulfoferrites et combinaisons analogues.

X **CHALCOPYRITE**. — Les cristaux de ce minéral appartiennent à l'hémiédrie sphénoïdale du système tétragonal $a : c = 1 : 0,9856$. Les formes les plus fréquentes sont : $p = \varkappa\{111\}$; $n = \varkappa\{1\bar{1}1\}$; $c = \varkappa\{001\}$; $d = \varkappa\{101\}$; $s = \varkappa\{201\}$; (fig. 457, 458 et 459); on observe aussi des scalénoèdres. Les angles se rapprochent beaucoup de ceux des cristaux du système cubique; les formes octaédriques en apparence résultent d'une combinaison des sphénoïdes positif et négatif (fig. 457). Les cristaux sont fréquents, et très

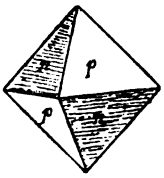


Fig. 457.

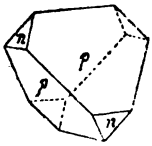


Fig. 458.

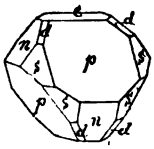


Fig. 459.

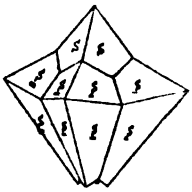


Fig. 460.

souvent maclés suivant $\{111\}$; ces macles ressemblent à celles de la figure 267; quelquefois on observe des macles de cinq individus, dont quatre viennent s'appliquer sur les quatre faces (111), $(\bar{1}\bar{1}1)$, $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$, $(\bar{1}11)$ d'un cinquième cristal (fig. 460). Clivage peu distinct suivant $s = \varkappa\{201\}$; cassure conchoïdale; D. = 3 ½; P.S. = 4 à 4,3. La C. présente un éclat métallique et une couleur jaune de laiton passant au verdâtre; elle est quelquefois irisée; sa poussière est d'un noir-verdâtre.

C. ch. : $CuFeS_2$ ou $Cu_2S.\ Fe_2S_3$ (34 ½ °/₀ Cu; 30 ½ °/₀ Fe). Au Ch. la C.

décrépite, et dégage de l'anhydride sulfureux. Sur le charbon elle fond assez facilement, avec bouillonnement et projection d'étincelles, en un bouton noir magnétique; elle se dissout dans l'eau régale avec dépôt de soufre.

La C. se présente en cristaux, en masses compactes, en imprégnations; on la trouve associée à d'autres sulfures métalliques, en couches ou en lentilles dans les Schistes cristallins et les roches paléozoïques; formant des salbandes (surtout en Scandinavie); souvent en filons avec Galène et Blende; avec Cassitérite en Cornouailles, etc. Ce minéral se rencontre en abondance au Hartz, dans l'Erzgebirge, en Westphalie, dans l'Oural, aux Etats-Unis, au Pérou, au Chili, etc. On l'observe aussi, comme produit des hauts fourneaux.

La C. est peu riche en cuivre, mais extrêmement répandue, de sorte que la plus grande partie du cuivre du commerce est extraite de ce minerai; elle sert aussi à la préparation d'une certaine quantité de sulfate de cuivre.

Bornite. — Les cristaux sont cubiques (combinaison {100} · {111} de Leogang) mais extrêmement rares, ce minéral est ordinairement en masses compactes, en rognons ou en enduits. Cassure écailleuse ou irrégulière. Clivage très imparfait suivant les faces {111}; la B. est cassante. D. = 3; P.S. = 4,9 à 5,1. Rouge de cuivre dans la cassure fraîche, mais s'irise promptement à l'air (couleur gorge de pigeon); rayure gris-noirâtre.

C. ch. : (FeS_5Cu_5) ou (Fe_2S_5, $3Cu_2S$); cette composition est assez variable. Donne au Ch. un globule métallique attirable à l'aimant.

La B. se trouve dans les mêmes gisements que la Chalcopyrite : Toscane, Silésie, Cornouailles, Connecticut; on la trouve en grandes masses au Pérou, Chili, Bolivie.

A cette division appartiennent encore quelques minéraux rares : la **Barnhardtite** $Fe_2S_5Cu_4$; la **Linnéite** $(NiCo)_2S_4$ (NiCo); la **Cubane** Fe_2S_4Cu; la **Carollite** Co_2S_4Cu; la **Stychnodymite** Co_2S_5 $(Cu, Co, Ni)_2$; la **Polydymite** $Ni_2S_5Ni_2$; ainsi que la série des Argentopyrites : la **Sternbergite** Fe_2S_5Ag; l'**Argentopyrite** Fe_3S_5Ag; la **Frieseïte** $Fe_5S_8Ag_2$; l'**Argyropyrite** $Fe_7S_{11}Ag_5$.

2. — Deuxième Division.

Sulfoarsénites, Sulfoantimonites, Sulfobismutites.

Miargyrite. — Monoclinique, se présente quelquefois à l'état massif et en imprégnations. D. = 2 ½; P.S. = 5,2. Eclat adamantin, couleur gris de plomb noirâtre passant au gris d'acier, poussière rouge-cerise; opaque.

C. ch., AgS_2Sb ou Ag_2S, Sb_2S_3; (36,7 % Ag). Dans le matras la M. fond et donne un sublimé de sulfure d'antimoine. Freiberg, Clausthal, Przibram, Potosi (Mexique).

Lorandite. — Isomorphe avec la Miargyrite. TlS_2As. Allchar (Macédoine).

Zinckenite. — Rhombique; cristaux prismatiques ou aciculaires D. = 3 à 3 ½; P.S. = 5,3. Gris d'acier foncé passant au gris de plomb. C. ch. : PbS_4Sb_2 ou

Sb_2S_3.PbS. Au Ch. la Z. décrépite. fond, dégage des vapeurs d'antimoine et se volatilise presqu'entièrement. Wolfsberg (Hartz).

La **Wolfsbergite** $Cu_2S_4Sb_2$; l'**Emplectite** $Cu_2S_4Bi_2$; la **Scléroclase** PbS_4As_2; l'**Andorrite**; $(PbAg_2)S_4Sb_2$; la **Galénobismutite** PbS_4Bi_2; l'**Alaskaïte** $(Pb,Ag_2Cu_2)S_4Bi_2$ sont probablement toutes isomorphes avec la Zinckenite.

Plagionite. — Monoclinique. D. = 2 ½; P.S. = 5,4. $Pb_5S_{17}Sb_8$. Wolfsberg (Hartz).

Binnite. — Cubique. Ordinairement massive mais présente quelquefois des cristaux où dominent les formes {110} et {211}, D. = 2 à 3; P.S. = 4 ½. Couleur gris d'acier foncé, éclat métallique. C. ch. : $Cu_6S_3As_4$, La B. fond au Ch. en dégageant de l'anhydride arsénieux et de l'anhydride sulfureux et laisse un bouton de cuivre. On la trouve dans la Dolomie du Binnenthal avec du Réalgar, de la Blende, de la Scléroclase, etc.

La **Klaprothite** $Cu_6S_3Bi_4$, la **Domingite** $Pb_5S_3Sb_4$, la **Schirmerite** $(Ag_2,Pb)_5S_3Bi_4$ se rattachent à la Binnite par leur composition chimique.

Jamesonite. — Rhombique; cristaux allongés ou capillaires, enchevêtrés. Clivage parfait suivant (001). D. = 2 à 2 ½; P.S. = 5 ½; couleur gris d'acier. C. ch. : $Pb_2S_2Sb_2$; Cornouailles, Estramadure (Espagne).

La **Dufrénoysite** $Pb_2S_2As_2$, la **Kobellite** $Pb_2S_2(Bi, Sb)_2$, la **Cosalite** $Pb_2S_2Bi_2$ la **Schapbachite** $(Pb, Ag_2)_2S_2Bi_2$ sont isomorphes avec la Jamesonite.

Boulangérite. — Rhombique. Ce minéral est ordinairement massif et se présente en masses compactes à structure granuleuse ou fibreuse. D. = 3; P.S. = 6. Gris de plomb, éclat métallique passant à l'éclat soyeux. C. ch., $Pb_5S_{11}Sb_4$; la B. fond facilement au Ch., en dégageant des vapeurs d'anhydride sulfureux et d'anhydride antimonieux et donne une aréole d'oxyde de plomb. On la trouve à Mayen (Prusse rhénane), Wolfsberg, Przibram, Nertschinsk.

La B. contient quelquefois une certaine quantité d'argent, on la désigne dans ce cas sous le nom de **Diaphorite** (rhombique) ou de **Freieslebenite** (monoclinique).

PYRARGYRITE. — Appartient à l'hémimorphie rhomboédrique du système hexagonal; les cristaux, scalénoédriques ou prismatiques, sont souvent fort compliqués (fig. 461); on y observe les formes : $n = \varkappa\varepsilon\{11\bar{2}0\}$, $R = \varkappa\varepsilon\{10\bar{1}1\}$, $l = \varkappa\varepsilon\{32\bar{5}1\}$, $r = \varkappa\varepsilon\{21\bar{3}1\}$, $v = \varkappa\varepsilon\{21\bar{3}4\}$ $b = \varkappa\varepsilon\{32\bar{7}5\}$, $z = \varkappa\varepsilon\{01\bar{1}2\}$, $q = \varkappa\varepsilon\{61\bar{7}1\}$, $e = \varkappa\varepsilon\{52\bar{7}3\}$, $f = \varkappa\varepsilon\{14\bar{5}3\}$. $(10\bar{1}1) : (0\bar{1}11) = 71°18'$. Macles fréquentes suivant $(10\bar{1}4)$; Clivage distinct suivant R. D. = 2 à 2 ½; P.S. = 5,8. La P. offre un éclat métallique passant à l'éclat adamantin; sa couleur est gris-noir ou gris foncé en lumière transmise; la poussière est rouge pourpre. Ce minéral est transparent sur les bords et optiquement — : $n_\omega = 3,84$; $n_\varepsilon = 2,881$ (rayons rouges).

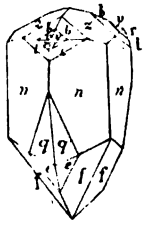


Fig. 461.

C. ch. : Ag_3S_3Sb (59,9 % Ag; 22,3 % Sb). La P. est facilement fusible; dans le matras elle décrépite et donne un sublimé de sulfure d'antimoine; sur le charbon elle dégage des vapeurs d'anhydride sulfureux et d'anhy-

dride antimonieux chauffée avec la soude à la flamme réductrice elle donne un bouton d'argent; elle est soluble dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre et d'anhydride antimonieux.

On trouve la P. dans les filons argentifères : Andreasberg (Hartz), Freiberg (Saxe), Przibram (Bohême), Guanajuato (Mexique), Chili.

PROUSTITE. — Isomorphe avec la Pyrargyrite $a : c = 1 : 0,8038$. $(10\bar{1}1) : (0\bar{1}11) = 72°10'$. Les formes cristallines, la dureté et les faces de clivage de la P. sont les mêmes que celles de la Pyrargyrite. P.S. = 5 ½. Couleur rouge cochenille, poussière rouge vermillon tirant sur le rouge aurore. Eclat adamantin. La P. est transparente et optiquement —. $n_\omega = 2,979$; $n_\varepsilon = 2,7114$ (rayons rouges).

C. ch. : Ag_3S_3As (65,5 °/₀ Ag, 15,11 °/₀ As). Elle fond facilement dans le tube fermé et donne un sublimé peu abondant de sulfure d'arsenic. Sur le charbon elle fond en produisant une forte odeur d'arsenic, dégage de l'anhydride sulfureux et laisse un globule cassant qui se réduit difficilement en un bouton d'argent. La P. est attaquée par la potasse caustique, qui en extrait le sulfure d'arsenic, et cette solution donne un précipité jaune citron par l'acide chlorhydrique.

Ce minéral se rencontre dans les filons argentifères et cobaltifères : Joachimsthal (Bohême), Annaberg (Saxe), Chalanches (Dauphiné), Mexique et en beaux cristaux à Chañarçillo (Chili).

La Proustite et la Pyrargyrite sont des minerais d'argent assez répandus, et fournissent une quantité notable de l'argent du commerce.

La **Pyrostilpnite**, Ag_3S_3Sb et la **Xanthoconite**, Ag_3S_3As sont monocliniques; on doit donc envisager comme dimorphes les combinaisons chimiques; Ag_3S_3Sb et Ag_3S_3As.

BOURNONITE. — Rhombique. $a : b : c = 0,938 : 1 : 0,897$. Ce minéral se présente souvent en beaux cristaux tabulaires, dont les formes principales

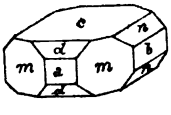


Fig. 462.

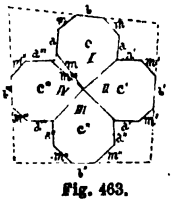


Fig. 463.

sont : $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $m = \{110\}$, $d = \{101\}$, $n = \{011\}$ (fig. 462); $(110) : (1\bar{1}0) = 86°20'$; $(011) : (001) = 41°54'$; $(101) : (001) = 43°10'$. Les macles suivant m sont très fréquentes; on observe des macles de 4 individus (fig. 463, projection orthogonale sur c). Clivage imparfait

suivant *b*, très imparfait suivant *a*. Cassure inégale, D. = 2 ½ à 3; P.S. = 5,8. La couleur de la B. est le gris d'acier passant au gris de plomb, son éclat est très vif.

C. ch. : $CuPbS_5Sb$ (13 °/₀ Cu; 42,4 °/₀ Pb; 25 °/₀ Sb). Dans le tube ouvert la B. dégage de l'anhydride sulfureux et des vapeurs blanches (Sb_2O_3); sur le charbon elle fond en dégageant des fumées blanches et finit par se prendre en un globule noir composé de plomb et de cuivre. Elle se dissout dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre et d'anhydride antimonieux.

On trouve la B. en cristaux, en masses compactes et en imprégnations. Elle est associée dans les filons métallifères à la Galène, la Blende, la Stibine, etc., en Cornouailles, à Przibram, à Neudorf (Hartz), aux Etats-Unis.

La B. est recherchée comme minerai de plomb et de cuivre.

L'**Aikinite** $CuPbS_2Bi$ est isomorphe avec la Bournonite.

TÉTRAÉDRITE. — Cubique, tétraédrique; les formes les plus communes sont : $c = \infty\{100\}$, $t = \infty\{111\}$, $t' = \infty\{\bar{1}\bar{1}1\}$, $d = \infty\{110\}$, $i = \infty\{211\}$,

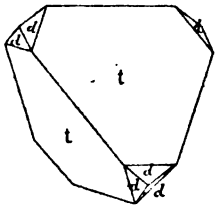


Fig. 464.

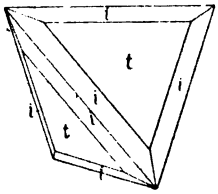


Fig. 465.

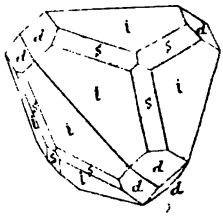


Fig. 466.

$s = \infty\{332\}$; les figures 464, 465, 466 et 467 en montrent quelques combinaisons. Les macles sont fréquentes surtout celles suivant une face de *t* (fig. 468, macle par pénétration); on observe quelquefois des macles com-

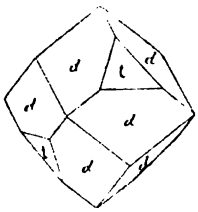


Fig. 467.

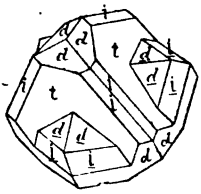


Fig. 468.

plémentaires (fig. 272). Clivage très indistinct suivant $\{111\}$, cassure conchoïdale. D. = 3; P.S. = 4,4 à 5,4; ce minéral est d'une couleur gris d'acier passant au noir de fer; poussière noire.

C. ch. : On distingue trois espèces de Tétraédrite : 1° la *Panabase* $(Cu_2, Ag_2, Fe, Zn)_4 S_7Sb_2$; 2° la *Tennantite* $(Cu_2, Fe, Zn)_4 S_7As_2$, et 3° la *Schwatzite* $(Cu_2, Hg_2, Fe, Zn)_4 S_7 (Sb, As)_2$.

La Panabase fond dans le matras et donne un sublimé rouge de sulfure d'antimoine mêlé d'anhydride antimonieux; elle est décomposée par l'acide nitrique avec dépôt de soufre et d'anhydride antimonieux; la potasse caustique lui enlève, à chaud, du sulfure d'antimoine que les acides précipitent de cette solution en jaune orangé. La Tennantite fond également dans le matras et donne un sublimé de sulfure d'arsenic; lorsqu'elle est réduite en poudre l'acide nitrique la décompose et donne un dépôt de soufre et d'anhydride antimonieux; la potasse caustique en extrait du sulfure d'arsenic qui se précipite, par les acides, en jaune citron. La Schwatzite donne à la fois les réactions de la Panabase et de la Tennantite.

La Tétraédrite se présente en cristaux, en masses compactes et en imprégnations. Les cristaux sont souvent recouverts d'une croûte de Chalcopyrite en très petits cristaux. On rencontre généralement ce minéral en filons dans des Schistes cristallins et dans des roches paléozoïques avec des minérais sulfurés, du Quartz, de la Sidérite, de la Barytine, etc., à Horhausen (Hesse), Clausthal (Hartz), Przibram, Cornouailles, Capelton (Canada), Szaska (Banat), Schwatz (Tyrol).

La Tétraédrite est exploitée comme minerai d'argent et de cuivre.

La **Jordanite**. monoclinique. P.S. = 6,4; gris de plomb. C. ch : $Pb_4S_7As_2$, ainsi que la **Meneghinite** $Pb_4S_7Sb_2$ se rattachent par leur composition à la Tétraédrite.

Stéphanite. — Rhombique $a : b : c = 0,6291 : 1 : 0,6851$; les cristaux sont tabulaires et offrent les formes $m = \{110\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $l = \{111\}$, $z = \{112\}$, $n = \{021\}$ (fig. 469). Macles communes suivant m, elles sont souvent répétées. Clivages imparfaits suivant n et b, D. = 2 à 2 ½; P.S. = 6,3. Couleur noir de fer passant au gris de plomb noirâtre.

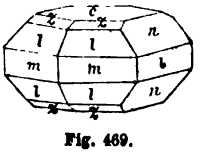


Fig. 469.

C. ch. : $Ag_{10}S_3Sb_2$ (68,4 % Ag; 15 ½ % Sb). La S. décrépite dans le tube fermé, fond et donne un sublimé de sulfure d'antimoine. Sur le charbon, avec la soude, elle se réduit en un bouton d'argent. L'acide nitrique la décompose à chaud avec dépôt de soufre et d'anhydride antimonieux.

La S. se trouve en beaux cristaux, en masses compactes et en imprégnations, dans des gisements analogues à ceux de la Pyrargyrite, Comstock-Lode (États-Unis), Mexique, Chili, Pérou.

La S. est un minerai d'argent assez recherché.

La **Géocronite** $Pb_5S_3Sb_2$ est isomorphe avec la Stéphanite; la **Kilbrickenite** $Pb_6S_3Sb_2$ et la **Beegérite** $Pb_6S_3Bi_2$ sont cubiques.

Polybasite. — Monoclinique, cristaux tabulaires à contours hexagonaux en apparence. D. = 2 à 3; P.S. = 6. Couleur noir de fer en masses, rouge cerise en esquilles minces.

C. ch. : $(AgCu)_9S_6Sb$. On rencontre la P. avec la Stéphanite.

La **Pearcite** $(Ag, Cu)_9S_6As$ est isomorphe avec la Polybasite. La **Polyargyrite** $Ag_{24}S_{15}Sb_2$ est cubique.

3. — Troisième Division.

Sulfoarséniates, Sulfoantimoniates, Sulfostannates, etc.

Enargite. — Rhombique, cristaux prismatiques striés; Clivage parfait suivant {110}. D. = 3; P.S. = 4,4. L'E. est d'un gris noir, à éclat métallique, C. ch.: CuS_4As. Tyrol, Chili, Mexique.

La **Famatinite** CuS_4Sb est peut-être isomorphe avec l'Enargite.

A cette division appartiennent encore l'**Epiboulangérite** $Pb_3S_3Sb_2$, l'**Epigenite** $Cu_8Fe_3S_{12}As_2$, la **Stannine** Cu_2FeS_4Sn, l'**Argyrodite** Ag_8S_6Ge, la **Franckeïte** $Pb_5S_{12}Sb_2Sn_2$ et la **Kylindrite** $Pb_6S_{12}Sb_2Sn_6$.

IIIe CLASSE. — COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE.

Les combinaisons de l'oxygène avec les autres éléments se subdivisent en Oxydes anhydres *et en* Oxydes hydratés (*hydroxydes*).

Groupe A. — Oxydes anhydres.

EAU. — L'Eau existe dans la nature : 1° à l'état solide, *Glace*, à 0°C et sous 0°; 2° à l'état liquide, *Eau* proprement dite, entre 0° et 100°C; 3° à l'état de *Vapeur*.

Composition chimique : H_2O = Oxygène 88.9; hydrogène 11.1 °/₀.

Glace. — Hexagonale, rhomboédrique; $a : c = 1 : 1.4026$ approximativement; l'angle (0001) : $(10\bar{1}1) = 58°,8$ 1/2 d'après Nordenskiöld. Les faces sont rarement nettes; la neige offre généralement des cristaux étoilés à six rayons très délicats. On observe parfois des grêlons garnis de cristaux hexagonaux qui rayonnent autour d'un nucléus massif. La G. peut être granulaire, compacte ou massive.

La G. est cassante aux températures basses; moins cassante lorsqu'elle approche de son point de fusion; cassure conchoïdale. D. = 1.5. P.S. = 0,9167 (Bunsen); éclat vitreux; incolore ou blanchâtre lorsqu'elle est pure; bleu pâle en couches épaisses. Transparente, uniaxe + $n_\omega = 1,3090$ $n_\varepsilon = 1,3133$ (lumière colorée par le sodium).

La G. se forme à basse température sur les étangs, les lacs, les rivières; elle peut se former aussi directement de la vapeur d'eau de l'atmosphère, comme neige, givre, grêle, etc. Dans certaines régions elle constitue des *neiges* ou des *glaces persistantes*, dont la limite s'abaisse dans les contrées polaires, jusqu'au voisinage du niveau de la mer, et s'élève sous l'équateur à plus de 4000 mètres d'altitude. Dans l'Himalaya elle est à 9400 m. sur le versant sud et à 5700 sur le versant nord. Dans les Alpes elle varie de 2800 à 3300 m.; et de 884 à 1680 m. en Scandinavie. Dans le Caucase elle est à 3570 m. à l'ouest et à 4300 m. à l'est.

Il existe en Suisse et dans le Tyrol un grand nombre de *glaciers*; le plus important est celui d'Aletsch (longueur 24 kilom.). Ceux des Pyrénées sont beaucoup moins étendus. En Scandinavie et en Islande certains glaciers descendent jusqu'à la mer. Le Caucase et l'Himalaya possèdent plusieurs glaciers, dont le plus grand a 100 kilom. de longueur. Ils sont moins nombreux en Amérique.

Lorsqu'une eau tranquiile se congèle, il se forme à sa surface une couche de glace qui possède une orientation cristallographique unique, l'axe principal étant perpendiculaire à la surface liquide. Lorsque des plaques de glace épaisses sont soumises au dégel, elles se désagrègent souvent en un amas de batonnets allongés qui sont perpendiculaires à leur surface. Des cristaux bien nets, et qu'on peut mesurer, se forment souvent par sublimation sur des fétus de paille et sur d'autres objets qui dépassent les couches de neige accumulées.

La **Tellurine** TeO_2, la **Molybdine** MoO_3 et la **Wolframine** WoO_3 sont des minéraux rares; ils cristallisent dans le système rhombique.

Arsenite. — As_2O_3, cristaux cubiques. Minéral incolore formant des incrustations sur les minerais d'arsenic. P.S. = 3,7. Andreasberg.

Sénarmontite. — Sb_2O_3, octaèdres réguliers incolores, translucides et comme nébuleux, éclat adamantin. Constantine (Algérie).

Valentinite. — Sb_2O_3. Cristaux généralement indéterminables, dérivant d'un prisme rhombique de 41°50'; clivage parfait suivant $\{010\}$. Przibram, Algérie.

Bismite. — Bi_2O_3. Pulvérulente ou terreuse, jaune paille, P.S. = 4 ½.

QUARTZ. — Ce minéral présente la tétartoédrie trapézoédrique du système hexagonal (Voir page 76). $a : c = 1 : 1,0999$. Les formes les plus communes sont : $p = \varkappa\tau\ \{10\bar{1}1\}$, $z = \varkappa\tau\ \{01\bar{1}1\}$ et $a = \varkappa\tau\ \{10\bar{1}0\}$; (fig. 470,

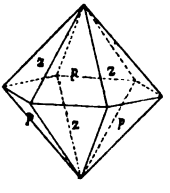


Fig. 470.

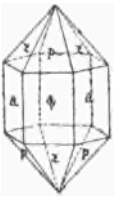


Fig. 471.

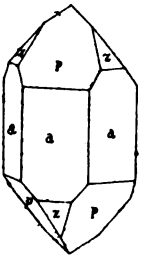


Fig. 472.

471 et 472); outre ces formes on observe très souvent le trapézoèdre trigonal positif gauche $x = \varkappa\tau\ \{6\bar{1}5\bar{1}\}$, la pyramide trigonale gauche $s = \varkappa\tau\ \{2\bar{1}\bar{1}1\}$ (fig. 473, cristal gauche), ainsi que le trapézoèdre trigonal positif droit $x = \varkappa\tau\ \{51\bar{6}1\}$, et la pyramide trigonale droite $s = \varkappa\tau\ \{11\bar{2}1\}$ (fig. 474, cristal droit). Les faces s sont ordinairement striées suivant l'arête $a : p$; ces stries vont en descendant de gauche à droite ou de droite à gauche selon qu'il s'agit de cristaux gauches (fig. 473) ou de cristaux droits (fig. 474). La figure 475 représente un cristal plus compliqué; outre

les faces a, p, z, s nous y constatons trois rhomboèdres positifs : $l = \varkappa\tau\,\{30\bar{3}1\}$, $f = \varkappa\tau\,\{40\bar{4}1\}$, $\xi = \varkappa\tau\,\{60\bar{6}1\}$, et deux trapézoèdres trigonaux positifs droits : $y = \varkappa\tau\,\{41\bar{5}1\}$, $i = \varkappa\tau\,\{61\bar{7}1\}$. Les faces a portent très souvent des stries horizontales, surtout du côté où ces faces entrent en

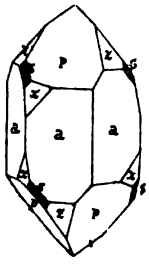


Fig 473.

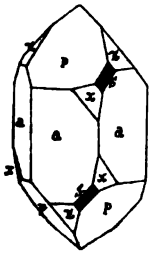


Fig. 474.

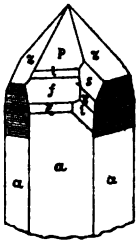


Fig. 475.

combinaison avec les rhomboèdres négatifs (figure 475, parties désignées par m). La figure 476 donne une projection stéréographique sur (0001) de quelques formes du Quartz et des principales de ses zones. 1° *Prismes*

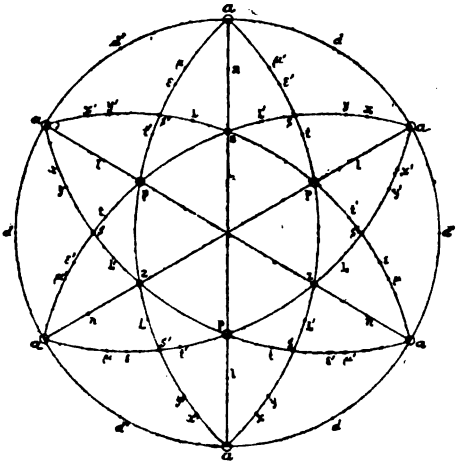


Fig. 476.

verticaux : a = protoprisme, d = prisme trigonal droit, d' = prisme trigonal gauche. — 2° *Rhomboèdres* : rhomboèdres positifs p et l; rhomboèdres négatifs z et n. — 3° *Trapézoèdres* : trapézoèdres trigonaux positifs droits : x, y, t; trapézoèdres trigonaux positifs gauches : x', y', t'; trapézoèdres trigonaux négatifs droits : μ, ε, L; trapézoèdres trigonaux négatifs gauches : μ', ε', L'.— 4° *Pyramides* : pyramide trigonale droite s; pyramide trigonale gauche s' (comparer cette fig. avec la fig. 172). Les angles

les plus importants sont les suivants : $a : p = (10\bar{1}0) : (10\bar{1}1) = 38°13'$; $p : z = (10\bar{1}1) : (01\bar{1}1) = 46°16'$; $a : s = (10\bar{1}0) : (11\bar{2}1) = 37°58'$; $a : x = (10\bar{1}0) : (51\bar{6}1) = 12°1'$. Quoique les cristaux paraissent simples ils sont généralement composés de deux ou de plusieurs individus; les macles se font le plus souvent suivant une des lois suivantes: 1° Deux cristaux gauches (ou deux cristaux droits) sont accolés par pénétration mutuelle sous une enveloppe commune, de sorte que les faces p de l'un des cristaux se diposent dans le même plan que les faces z de l'autre (fig. 477); ces dernières faces, pointillées dans la figure, sont ordinairement moins brillantes que les faces p, et parfois mates. — 2° Deux cristaux, l'un gauche l'autre droit,

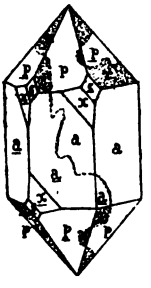


Fig. 477.

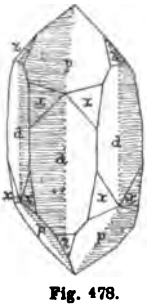


Fig. 478.

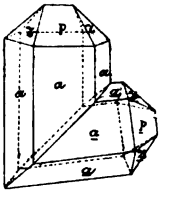


Fig. 479.

sont maclés par pénétration d'après les faces du deutéroprisme $\kappa\tau\ \{11\bar{2}0\}$ qui constituent alors des plans de symétrie pour la macle (fig. 478, les parties appartenant au cristal gauche sont marquées de hachures). — 3° Deux cristaux sont maclés par accolement suivant une face de $\kappa\tau\ \{11\bar{2}2\}$, (fig. 479); les axes des deux individus forment un angle de 84°33'; ces dernières macles sont plus rares que les autres.

Il existe un clivage très imparfait suivant $p = \kappa\tau\ \{10\bar{1}1\}$; on peut l'obtenir assez facilement par un changement brusque de température. Cassure écailleuse, inégale et esquilleuse. D. = 7; P.S. = 2,5 à 2,8. Le Quartz est tantôt incolore et tantôt coloré, sa poussière est blanche, son éclat vitreux, légèrement gras dans la cassure. Il est optiquement $+_1$ faiblement biréfringent, $n_\omega = 1,5442$; $n_\varepsilon = 1,5534$ (raie D.).

Le Quartz offre le phénomène de la polarisation rotatoire (Voir page 152). — 1° les cristaux gauches (fig. 473) sont lévogyres; on y observe la pyramide trigonale gauche s ainsi que des trapézoèdres trigonaux positifs gauches et des trapézoèdres trigonaux négatifs droits. — 2° Les cristaux droits sont dextrogyres; ils présentent la pyramide trigonale droite ainsi que des trapézoèdres trigonaux positifs droits et des trapézoèdres trigonaux négatifs gauches. Des plaques taillées dans les macles représentées par la

figure 478, montrent quelquefois les spirales d'Airy, par suite de la superposition de lamelles à pouvoir rotatoire inverse.

C. ch. : SiO_2 (46,67 °/₀ Si; 53,33 °/₀ O). Le Quartz est généralement très riche en inclusions : Oligiste, Epidote, Rutile, Chlorite, matières vitreuses, gazeuses et surtout liquides. Dans les cristaux de Quartz dit *aérohydre* on observe à l'œil nu de grosses inclusions liquides avec bulle mobile. Il est infusible sauf à la flamme du Ch. oxhydrique. Soluble dans l'acide fluorhydrique seulement. Sur le charbon avec la soude il bouillonne et fond en un verre clair entièrement soluble.

Il donne des figures de corrosion décrites pages 181 et 182.

Le Quartz est l'un des minéraux les plus répandus et c'est un élément essentiel de la plupart des roches. Lors de la décomposition des silicates qui constituent presque toutes les roches cristallines et schisto-cristallines, l'acide silicique se dissout dans les eaux qui s'infiltrent dans les masses rocheuses et se dépose dans les fissures et dans les vides de ces roches à l'état de Quartz cristallisé. Lorsqu'une fissure est entièrement remplie de Quartz cristallin elle se transforme en un filon quartzeux. Ce sont ces filons quartzeux qui renferment si souvent l'Or et les minerais comme on l'a vu par les descriptions précédentes.

Le Quartz présente un très grand nombre de variétés; nous mentionnerons le *Cristal de roche*, beaux cristaux limpides qu'on rencontre dans les cavités et les fentes des roches cristallines, dans les druses de certains filons, dans le Marbre, etc. (Alpes, Carrare, Oisans, Madagascar); le *Quartz enfumé*, cristaux colorés en brun grisâtre ou noirâtre, et ordinairement très riches en faces (Alpes, Bohême, Sibérie); la *Fausse Topaze* ou *Citrine*, cristaux de Quartz colorés en jaune plus ou moins foncé (Brésil, Espagne); l'*Améthyste*, cristaux simples, souvent assez grands, colorés en violet par du manganèse, très fréquents dans les filons métallifères et les roches cristallines (Brésil, Hongrie, Inde); le *Quartz chloriteux*, variété colorée en vert par des lamelles de chlorite (Alpes, Oisans); le *Quartz ferrugineux* ou *hématoïde*, encore nommé *Hyacinthe de Compostelle*, prismes bipyramidés colorés en rouge de diverses nuances par l'oxyde de fer (Sundwig en Westphalie); l'*Œil de chat*, variété opalescente, légèrement colorée en brun ou en gris, et pénétrée de fibres fines d'Asbeste (Ceylan, Hof en Bavière); l'*Aventurine*, Quartz coloré en brun contenant de nombreuses paillettes brillantes de Mica (Cap de Gate en Espagne, Bretagne); l'*Œil de tigre*, variété fibreuse colorée en brun par de la limonite, pseudomorphe de la Crocydolite (rivière Orange dans l'Afrique australe); le *Quartz commun*, cristaux ou masses cristallines translucides, colorés généralement en blanc ou en blanc grisâtre, très répandu.

Le Cristal de roche ainsi que les variétés douées de belles couleurs, comme l'Améthyste, la Citrine, l'Œil de chat, etc. sont assez recherchés comme pierres précieuses. Le Cristal de roche est encore utilisé pour la fabrication de lentilles, de poids inaltérables, de certains instruments de précision; pour la cristallerie, etc.; mais c'est surtout le Quartz commun qui présente une grande importance au

point de vue industriel; en effet les Grès, les Quartzites, les Sables, etc. dont les usages sont bien connus, se composent presque exclusivement de Quartz commun.

Chalcédoine. — Cryptocristalline, probablement triclinique; se présente en masses botryoïdales, stalactitiformes ou compactes, à structure rayonnée, translucides ou transparentes, généralement colorées de teintes claires. Eclat cireux; optiquement —; P.S. = 2,6; C. ch.: SiO_2. La C. contient quelquefois 2 à 3 °/₀ d'eau, due peut-être à la présence d'un peu de silice hydratée ou Opale. Elle est très répandue, surtout dans les cavités des roches cristallines, et comme pseudomorphoses de Calcite, de Fluorine, etc.

Signalons comme variétés de la Chalcédoine : la *Cornaline*, colorée en rouge par de l'oxyde de fer. La *Chrysoprase* ou *Plasma*, variété verte, désignée sous le nom d'*Héliotrope* lorsqu'elles renferment des points rouges de Cornaline. L'*Agate*, constituée par de la Chalcédoine en couches concentriques alternantes; lorsque ces couches ont des couleurs bien tranchées le minéral prend le nom d'*Onyx*.

Quand la Chalcédoine devient très compacte avec orientation très confuse des éléments, elle passe au *Silex*, P.S. 2,59 à 2,61. Ce minéral est gris, brun, jaune ou noir. On distingue le *Silex pyromaque* ou *Pierre à fusil*, à cassure esquilleuse; le *Silex corné* (*Hornstein*) à cassure plutôt plate et parfois conchoïdale; le Silex noir ou *Chert* qui abonde dans le Calcaire carbonifère; la *Pierre meulière* quelquefois fortement cariée et ferrugineuse; le *Silex xyloïde* ou *Bois silicifié*, etc.

Les *Jaspes* sont des Silex très compacts et très impurs, colorés de diverses nuances; il en est de noirs, de rouges, de bruns, etc.; ils sont opaques et doivent le plus souvent cette propriété à de l'oxyde de fer.

Les différentes variétés de Chalcédoine et d'Agate servent à la fabrication de vases, de mortiers, etc.; quand elles présentent de belles couleurs on en taille des camées et d'autres objets d'ornement et de parure.

Tridymite. — (Du grec τρίδυμος = triple). — Cristaux lamellaires, d'apparence hexagonale (fig. 480) $a = \{10\bar{1}0\}$, $p = \{10\bar{1}1\}$, $c = \{0001\}$, $d = \{11\bar{2}0\}$. Les

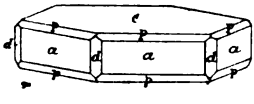


Fig. 480.

Fig. 481.

cristaux sont toujours maclés par deux ou trois suivant une face de $\{10\bar{1}6\}$. En réalité la T. semble être rhombique: les cristaux considérés comme simples sont déjà maclés d'une façon très compliquée, comme on peut l'observer en lumière polarisée (fig. 481).

Cassure conchoïdale; D. = 7; P.S. = 2,3. Eclat vitreux; incolore ou blanche,

transparente, optiquement +; double réfraction faible; $n_\beta = 1,476$ (rayons jaunes). C. ch. : SiO_2.

On rencontre la T. dans les roches volcaniques (Trachytes, etc.) dont elle occupe les cavités, sous forme de petits cristaux imbriqués de quelques millimètres de surface.

La **Christobalite** est une quatrieme espèce de silice anhydre cristallisée, qui se présente en petites pyramides tétragonales maclées suivant {111}; elle est associée à la Tridymite dans une Andésite de San Christobal au Mexique.

La **Baddeleyite**, ZrO_2, se présente en cristaux tabulaires, incolores ou jaune brunâtre; Brésil, Ceylan.

BROOKITE. — Se présente en lamelles du système rhombique, $a : b : c = 0,842 : 1 : 0,944$. La face $a = \{100\}$ domine et porte des stries verticales; les cristaux offrent aussi les faces $m = \{110\}$; $c = \{001\}$; et en outre, $e = \{122\}$; $t = \{021\}$; $x = \{102\}$, (fig. 482); l'angle (110) : (110) = 80°10'; et celui (100) : (122) = 67°49'.

Clivage suivant {010}. D. = 6; P.S. = 3,8 à 4,13, il augmente sous

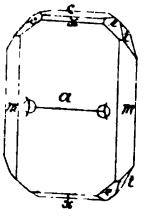


Fig. 482.

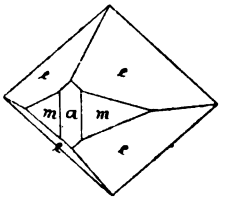


Fig. 483.

l'action de la chaleur jusqu'à devenir égal à celui du Rutile. Couleur brun-jaunâtre, brun rougeâtre, rouge hyacinthe, avec poussière jaunâtre. Éclat adamantin passant à l'éclat métallique.

C. ch. : TiO_2 avec un peu de fer; au Ch. donne avec le sel de phosphore une perle jaune clair à chaud, incolore à froid, au feu d'oxydation; violette au feu de réduction.

Caractères optiques : la bissectrice aiguë est normale à a; P.A. ‖ à (001) pour les rayons jaunes (fig. 482), et ‖ à (010) pour les rayons bleus, ce qui détermine, en lumière ordinaire, la production d'une figure d'interférence très singulière composée de 4 systèmes d'hyperboles isochromatiques.

On trouve la B. implantée dans les fissures de roches cristallines; St-Gothard, Tremadoc (Pays de Galles), Dauphiné; et quelquefois comme produit de décomposition de certaines roches silicatées. A Magnet Cove dans l'Arkansas, on trouve une variété de B. désignée sous le nom d'*Arkansite*; ces cristaux sont noirs à éclat métallique; les faces e dominent et impriment aux cristaux une forme pyramidale (fig. 483).

ANATASE. — (Du grec ἀνάτασις = allongement, à cause de l'acuité de sa pyramide). — Tétragonale, $a : c = 1 : 1,777$. D'aspect pyramidal, rarement prismatique, l'A. se présente en pyramides très aiguës ou dominent les faces $p = \{111\}$, $a = \{100\}$, et $c = \{001\}$, (fig. 484 et 485). L'angle $(111) : (1\bar{1}1)$ est de 43°24'. On trouve aussi des cristaux à pyramides moins aiguës, offrant les faces $v = \{117\}$; $s = \{115\}$; $r = \{113\}$; $p = \{111\}$; $d = \{101\}$, (fig. 486).

Clivages parfaits suivant les faces p et c. D. = 5 ½ à 6; P.S. = 3,83 à

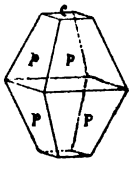


Fig. 484.

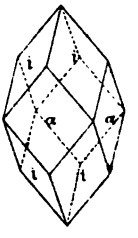


Fig. 485.

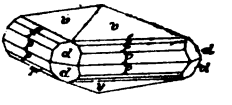


Fig. 486.

3,93. Couleur ordinairement bleue ou noire; les beaux cristaux transparents du Binnenthal sont incolores ou jaunes. Éclat adamantin. Double réfraction —, $n_\omega = 2,554$; $n_\varepsilon = 2,493$ (rayons jaunes).

C. Ch. : TiO_2. Au Ch. l'A. est infusible et phosphorescente, elle donne les mêmes réactions que la Brookite.

On trouve l'A. implantée sur les parois des fissures de roches schisto-cristallines; St-Gothard, Binnenthal, Dauphiné; dans des Sables aurifères avec le Diamant au Brésil, et dans un grand nombre de roches porphyriques.

RUTILE. — (Ainsi nommé à cause de sa couleur). — Tétragonal, $a : c = 1 : 0,644$; les cristaux sont souvent colonnaires et présentent les formes $a = \{100\}$; $m = \{110\}$; $p = \{111\}$; $d = \{101\}$; $s = \{320\}$; $z = \{321\}$; (fig. 487 et 488). L'angle $(111) : (1\bar{1}1)$ est de 56°52'. Les prismes sont souvent striés dans le sens de leur longueur. Les macles sont fréquentes et se font ordinairement suivant une face de la deutéropyramide $d = \{101\}$. Les axes principaux des individus maclés font entre eux un angle de 65°35' (fig. 489). Les *macles en cycle* sont constituées par 6 ou par 8 individus, maclés suivant des faces non parallèles; dans le premier cas les axes verticaux des 6 individus se disposent dans un même plan, dans le second, au contraire, ces axes forment une ligne en zig-zag (fig. 490). Quelquefois les cristaux s'entrecroisent en se maclant suivant d, et forment une sorte de

réseau qu'on désigne sous le nom de *Sagénite* (fig. 491). La figure 492 représente la *macle en cœur*, dont le plan de macle est (301).

Clivages parfaits suivant {110} et {100}; imparfait suivant {111}. D. = 6 à 6 ½; P.S. = 4,27. Couleur rougeâtre, jaune, noire; rouge foncé en lumière transmise; éclat adamantin passant à l'éclat métallique. Optiquement +; double réfraction énergique, indices élevés : $n_\omega = 2,6158$, $n_\varepsilon = 2,9029$ (rayons jaunes).

C. ch. : TiO_2 ou $TiTiO_4$. Inaltérable au Ch.; donne avec le sel de phos-

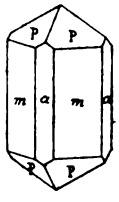


Fig. 487.

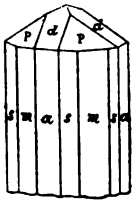


Fig. 488.

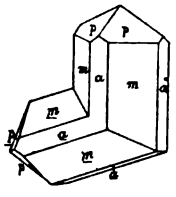


Fig. 489.

phore les mêmes réactions que la Brookite. Soluble dans les acides après fusion avec un alcali.

Le R. est très répandu, on le trouve dans les roches schisto-cristallines, dans des Pegmatites (Miask, Oural), en cristaux microscopiques dans les Phyllades, dans des filons avec Apatite (Kragerö, Risöer en Norvège); en filaments allongés enclavés dans le Quartz, en grains isolés dans les sables.

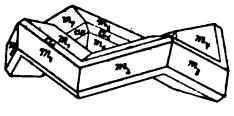


Fig. 490.

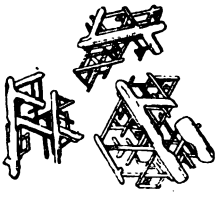


Fig. 491.

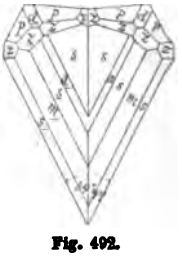


Fig. 492.

On trouve de beaux cristaux de R. dans les Alpes (St-Gothard, Binnenthal), et des cristaux pesant jusqu'à 500 grammes à Graves Mount (Georgie); il est souvent associé au Graphite.

Le R. a été reproduit artificiellement. Signalons à ce point de vue les synthèses de M. Hautefeuille qui permettent d'obtenir, suivant la température à laquelle on opère, du Rutile, de l'Anatase ou de la Brookite; ces faits confirment le trimorphisme de l'acide titanique.

Le R. sert à la fabrication d'une couleur employée par les peintres sur porcelaine pour produire certains tons jaunes.

ZIRCON. — Tétragonal, isomorphe avec le Rutile; $a : c = 1 : 0,6404$; cristaux courts, assez épais, présentant souvent les formes $p = \{111\}$;

$m = \{110\}$; $a = \{100\}$; $u = \{331\}$; $v = \{221\}$ et $z = \{311\}$, (fig. 203, 493 et 494). L'angle (111) : ($1\bar{1}1$) est de 56°41′. Les macles sont assez rares et se font suivant une face de la deutéropyramide {101} (fig. 494). Le Z. se présente quelquefois en grains arrondis.

Cassure conchoïdale; clivages imparfaits suivant {111} et {110}. D. = 7 ½; P.S. = 4,4 à 4,7. Le Z. est rarement incolore, mais généralement coloré en brun, rouge, jaune, gris ou vert; ces colorations sont dues à une certaine teneur en fer, et disparaissent par la calcination. Éclat adamantin ou vitreux, résineux dans la cassure. Double réfraction énergique +; $n_\omega = 1,9239$, $n_\varepsilon = 1,9682$ (rayons jaunes).

C. ch. : $ZrSiO_4$. Le Z. est infusible au Ch. et devient phosphorescent par

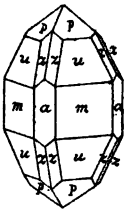


Fig. 493.

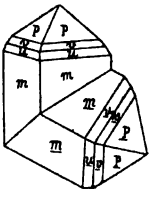


Fig. 494.

la calcination. Sa poussière ne peut être attaquée que par une longue digestion avec l'acide sulfurique.

On trouve le Z. dans les filons de Pegmatite syénitique du sud de la Norvège, et à Miask dans l'Oural; dans certains Granites, Eclogites, Basaltes, Calcaires métamorphiques et Schistes chloriteux; comme élément microscopique dans une foule de roches telles que Porphyres quartzifères, Schistes cristallins et roches de contact; dans des couches sédimentaires, Sables etc. On le trouve aussi en cristaux ou en grains, dans les gisements de pierres fines avec Spinelle et Corindon, par exemple à Ceylan et en Tasmanie.

On désigne sous le nom d'*Hyacinthe* des cristaux rouges, transparents et roulés d'Expailly (Haute-Loire). Les *Jargons* sont des Z. de Ceylan jaunes ou enfumés à éclat adamantin.

Les Z. transparents doués de belles couleurs, comme l'Hyacinthe, sont très recherchés pour la joaillerie; ces pierres précieuses valent de 60 à 100 francs le carat; les cristaux de petite dimension sont utilisés dans la fabrication des montres, des balances de précision, etc., comme coussinets et autres pièces analogues. Enfin, le Z. est pour ainsi dire le seul minéral dont on puisse extraire les sels de zirconium, dont il est fait un si grand usage pour la fabrication des manchons à incandescence Auer, etc.

CASSITÉRITE. — (Du grec καττίτερος = étain). — Tétragonale, somorphe avec le Rutile et le Zircon, $a : c = 1 : 0,6723$. Ses cristaux sont

raccourcis, assez épais et les formes qui y dominent sont $p = \{111\}$; $m = \{110\}$; $a = \{100\}$; $d = \{101\}$; ils présentent en outre les formes $s = \{320\}$, et $z = \{321\}$; (fig. 495 et 496). L'angle (111) : (11$\bar{1}$) est égal à 92°53′. Les faces du prisme sont souvent striées. Macles très fréquentes suivant une face de $\{101\}$, (fig. 496). Les axes c des deux individus maclés forment un angle de 67°50′. La C. présente aussi des macles répétées et en cycle, comme celles du Rutile.

Clivages imparfaits suivant $\{100\}$ et $\{110\}$. D. = 6 à 7; P.S. = 6, 8 à 7. Couleur brun-jaunâtre ou rougeâtre, quelquefois noire, rarement rouge, grise ou jaune. Poussière jaunâtre ou blanche. Éclat adamantin ou gras. Translucide. Optiquement +, $n_\omega = 1,9966$, $n_\varepsilon = 2,0934$ (rayons jaunes).

C. ch. : SnO_2 ou $SnSnO_4$ (78,6 % Sn); elle contient une faible quantité de

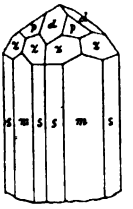


Fig. 495.

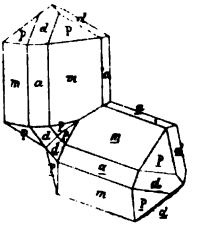


Fig. 496.

fer. Infusible, facilement réductible à l'aide de la soude sur le charbon en étain métallique. Insoluble dans les acides.

On trouve la C. en imprégnations ou en filons dans divers Granites, Porphyres et leurs roches de contact, accompagnée souvent de minéraux contenant du fluor, du bore, du phosphore, du tungstène, comme la Fluorine, la Cryolite, la Wolframite, l'Apatite, la Topaze, la Tourmaline, la Zinnwaldite, etc., dans l'Erzgebirge, en Cornouailles et dans l'ouest du Devonshire, en Bretagne, en Galice (Espagne), à Durango (Mexique), en Bolivie, en Tasmanie. Aujourd'hui les régions qui fournissent le plus de C. sont Malacca, les îles de Banka et de Billiton (îles de la Sonde), et l'Australie. La C. s'y rencontre aussi dans des alluvions. Une variété finement fibreuse à laquelle on a donné le nom d'*Étain de bois* se rencontre dans les alluvions de Cornouailles et du Mexique.

L'existence de la C. comme pseudomorphoses sur Orthose, Quartz, Tourmaline (Cornouailles) et sa formation constatée dans des fossiles, indiquent que ce minéral s'est déposé de solutions.

La C. est le seul minéral dont on puisse extraire industriellement l'étain; la production annuelle totale de l'étain peut être évaluée à 70,000 tonnes, représentant une valeur de 105 millions de francs environ.

La **Thorite** et l'**Orangite** dont la composition primitive peut s'exprimer par la formule $ThSiO_4$ et qui se trouvent associées au Zircon (Norwège), ainsi que la

Plattnérite $PbPbO_4$, de Lead Hills (Ecosse) sont isomorphes avec le Rutile, le Zircon et la Cassitérite.

Polianite. — Tétragonale, isomorphe avec les minéraux précédents; cristaux courts, petits, présentant les formes {110}, {100}, {001}, et striés verticalement. On trouve souvent les cristaux en groupes, où ils sont disposés parallèlement.

Cassure irrégulière; clivage suivant {100}; D. = 6 à 6 ½; P.S. = 5. Couleur gris d'acier, éclat métallique imparfait. C. ch. : MnO_2 ou $MnMnO_4$. On trouve la P. à Platten, à Schneeberg, en Cornouailles, etc.

PYROLUSITE. — (Du grec πῦρ = feu, et λύω = dissoudre). — Ce qu'on désigne sous ce nom n'est pas une espèce minérale déterminée, c'est plutôt une pseudomorphose de Polianite sur d'autres minerais de manganèse, sur la Manganite et la Dialogite en particulier. Tous les minéraux manganésifères tendent à se transformer en Pyrolusite; à la suite de cette transformation ils renferment un peu d'eau et deviennent mous. D. = 2 à 2 ½; P.S. = 4,7 à 5. Couleur gris d'acier foncé, poussière noire; les faces polies présentent un éclat semi-métallique.

C. ch. : MnO_2. (63,2 % Mn; 36,8 % O). — Infusible, dégage de l'oxygène par la caléfaction, donne avec le borax ou avec le sel de phosphore une perle violette aux deux feux, et un sirop violet avec l'acide phosphorique sirupeux; soluble dans l'acide chlorhydrique avec dégagement de chlore.

La P. se présente ordinairement en masses compactes à structure fibreuse ou rayonnée; on en trouve des gîtes très importants, dans le Nassau, aux environs d'Ilmenau (Thuringe), à Ilfeld (Hartz), dans l'Erzgebirge, à Romanèche (Yonne), en Espagne, en Scandinavie, aux États-Unis et surtout dans des Grès et sables éocènes près de Tchiatura (Gouvernement de Kutaïs Caucase), qui fournissent plus de la moitié, environ 230.000 tonnes, de tous les minerais manganésifères du commerce.

La P. sert à la préparation de l'oxygène et du chlore, en métallurgie pour la fabrication du fer au manganèse, dans l'industrie verrière comme *savon des verriers* pour enlever au verre les couleurs que le fer lui communique, à la préparation des permanganates, du manganèse, etc.; les fabriques de poteries, les faïenceries et les fabriques de couleurs consomment également une certaine quantité de P.

Nous plaçons ici un groupe de minéraux dimorphes formé par les monoxydes des métaux bivalents (magnésium, zinc, manganèse, nickel); il comprend la **Périclase**. MgO, qui se présente en petits cristaux octaédriques verdâtres, comme produit d'altération du carbonate de magnésie, la **Manganosite**, MnO, et la **Bunsenite**, NiO qui appartiennent aussi au système cubique, et enfin la **Zincite**; hexagonale, cristaux naturels très rares; elle forme des masses lamellaires colorées en rouge par le manganèse. Clivages parfaits suivant la base et le protoprisme. D. = 4; P.S. = 5,7. Eclat adamantin. C. ch. : ZnO; infusible au Ch., soluble dans les acides. On trouve la Z. dans les Calcaires cristallins blancs du New-Jersey (Etats-Unis). Les cristaux artificiels de Z. s'observent assez fréquemment.

× **CORINDON.** — Hexagonal, rhomboédrique. $a : c = 1 : 1,364$. — Les formes les plus communes sont $r = \varkappa\{1011\}$; $c = \varkappa\{0001\}$; $d = \varkappa\{11\bar{2}0\}$; $v = \varkappa\{02\bar{2}1\}$; $n = \varkappa\{22\bar{4}3\}$; $i = \varkappa\{4483\}$. Quelquefois les cristaux sont prismatiques (fig. 497); d'autres fois plus ou moins aigus par suite du développement prédominant de deutéropyramides (fig. 498). L'angle des faces (1011) : (0111) est de 93°56′. Les faces du deutéroprisme et des deutéropyramides sont striées horizontalement. On observe souvent des lamelles maclées suivant les trois faces du rhomboèdre *r*, qui traversent le cristal et s'entrecroisent sur les faces (fig. 499).

Cassure conchoïdale ou écailleuse. D. = 9; P.S. = 4. Le C. est rarement incolore, mais le plus souvent coloré en bleu ou en rouge; il possède un éclat vitreux et présente quelquefois le phénomène de l'astérisme; il est

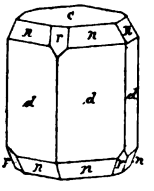


Fig. 497.

Fig. 498.

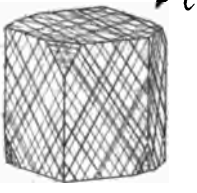


Fig. 499.

dichroïque. Biréfringence faible —; $n_\omega = 1,7676$; $n_\varepsilon = 1,7594$ (Saphir, rayons rouges). Les cristaux sont ordinairement uniaxes; toutefois on rencontre des cristaux anormaux (Voir page 156) qui présentent deux axes optiques dont l'angle dépasse quelquefois 10°. Le C. s'électrise par le frottement.

C. ch. : Al_2O_3. Infusible; chauffé sur le charbon avec le nitrate de cobalt il donne une masse bleue; insoluble dans les acides; décomposé par la fusion avec le bisulfate de potasse.

Comme variétés de C. on distingue : le *Saphir oriental*, dichroïque dans les variétés bleues; ces pierres n'apparaissent avec une belle coloration bleue que lorsque la lumière les traverse suivant l'axe; leur couleur ordinaire est le bleu pâle. Le *Rubis oriental* (rouge), la *Topaze orientale* (jaune), l'*Emeraude orientale* (verte), l'*Améthyste orientale* (violette), et le *Saphir blanc* (incolore). L'*Emeri* est un C. grenu, de couleur brune ou bleue, et qui renferme souvent un mélange de Magnétite et d'Oligiste; on le trouve dans l'île de Naxos et dans l'Asie Mineure.

On trouve le C. enchâssé dans des roches de contact (Calcaires et Dolomies), dans le Granite, le Gneiss, le Micaschiste, le Chloritoschiste, et en grains

isolés dans les gisements de pierres précieuses; Campolungo (Tessin), Miask, Slatoust (Oural), Hymalaya, Ceylan. C'est la Birmanie qui fournit aujourd'hui les Rubis les plus recherchés.

Le C. se transforme en Mica, en Chlorite et en Spinelle. Il a été reproduit artificiellement par Frémy et Feïl, en faisant réagir à très-haute température, dans des creusets en terre, un mélange d'alumine avec une quantité plus ou moins grande de potasse caustique, sur du fluorure de baryum, avec du bichromate de potasse comme substance colorante; les Rubis ainsi obtenus sont nettement cristallisés, transparents et de couleur brillante. Le Rubis et le Saphir sont deux gemmes de grande valeur; le prix des Rubis de belle nuance dépasse souvent celui du Diamant. Les cristaux de C. qui ne peuvent pas être utilisés pour la bijouterie, sont employés comme *trous* dans les chronomètres et autres instruments de précision. L'Emeri et la poudre de C. commun sont fréquemment employés au polissage des pierres, des glaces et d'autres objets d'une grande dureté. Les îles de l'Archipel grec produisent annuellement près de 900 tonnes d'Emeri, d'une valeur d'environ 330,000 francs.

OLIGISTE. — Isomorphe avec le Corindon; ($a : c = 1 : 1,359$). Les cristaux présentent souvent le rhomboèdre $r = \varkappa\{10\bar{1}1\}$ combiné à la base $c = \varkappa\{0001\}$, (fig. 500). On observe fréquemment la combinaison des formes $r = \varkappa\{10\bar{1}1\}$; $s = \varkappa\{10\bar{1}4\}$, et de la deutéropyramide $n = \varkappa\{22\bar{4}3\}$ (fig. 501).

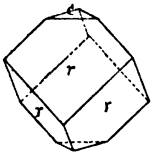


Fig. 500.

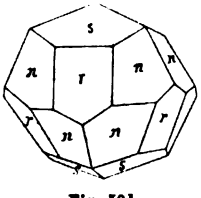


Fig. 501.

Fig. 502.

Fig. 503.

On rencontre aussi des cristaux tabulaires (fig. 502) qui présentent les formes $r = \varkappa\{10\bar{1}1\}$, $c = \varkappa\{0001\}$, $d = \varkappa\{11\bar{2}0\}$; les faces de c sont ordinairement striées parallèlement aux arêtes $c : r$ (fig. 502). Macles par pénétration suivant $c = \varkappa\{0001\}$ (fig. 503); quelquefois on rencontre des macles suivant le protoprisme $\varkappa\{10\bar{1}0\}$ ou suivant r, et dans ce dernier cas on observe souvent des lamelles semblables à celles des cristaux de Corindon. Clivages très peu distincts suivant r et c. L'O. est cassant, sa cassure est conchoïdale, irrégulière ou terreuse. D. = 5 ½ à 6 ½; P.S. = 5 à 5,3.

Les cristaux d'O. présentent l'éclat métallique, possèdent une couleur gris de fer ou gris d'acier et sont souvent irisés à la surface. En lames très minces ils sont rouges par transparence. La poussière est rouge cerise ou rouge brunâtre. Optiquement —.

C. ch. : Fe_2O_3 (70 % Fe, 30 % O); présente des transitions à l'Ilménite. Infusible au Ch.; au feu de réduction, sur le charbon, devient attirable à l'aimant. Soluble par digestion dans l'acide chlorhydrique.

On rencontre l'O. en cristaux, en masses compactes présentant quelquefois une surface mamelonnée à éclat métallique; d'autres fois la masse est entièrement terreuse. Il se présente encore sous la forme de fines lamelles qui s'attachent aux doigts (*O. micacé*), ou en grandes lames miroitantes (*Fer spéculaire*).

L'O. est un minerai de fer très répandu qui se présente dans des conditions fort variables. L'île d'Elbe en renferme un gisement célèbre. On le trouve en cristaux et en masses grenues à éclat métallique dans des roches cristallines ou métamorphiques (Binnenthal, Alpes, Ile d'Elbe, Framont en Alsace, Dauphiné, Cumberland, Scandinavie, etc.), et en lits ou amas sous forme de masses à structure fibreuse, compacte ou terreuse dans différentes formations et surtout dans les terrains primaires (Bohême, Erzgebirge, Westphalie, Hartz. Oural, États-Unis, etc.); on l'observe aussi comme produit de sublimation au Vésuve et à l'Etna.

Hæmatite (Brun)

L'O. joue un rôle des plus importants dans la métallurgie du fer. Réduit en poudre fine il sert au polissage d'un grand nombre d'objets. L'*Ocre rouge* (variété d'O. contenant une certaine quantité d'argile) est utilisé pour la fabrication des crayons rouges et dans l'industrie des couleurs.

Martite. — Fe_2O_3. Cubique, présente les formes {111} ou {110}; ces cristaux sont très probablement des pseudomorphoses sur Pyrite ou sur Magnétite.

Ilménite. — Cristallise dans la tétartoédrie rhomboédrique du système hexagonal. $a : c = 1 : 1,360$; les cristaux présentent les formes $r = x\pi \{10\bar{1}1\}$; $u = x\pi \{02\bar{2}1\}$ $n = x\pi \{42\bar{2}3\}$; $c = x\pi \{0001\}$ (fig. 504). L'I. est noir de fer à poussière noire ou brune; elle est faiblement magnétique. Cassure conchoïdale. D. = 5 à 6; P.S. = 4,3 à 4,9. C. ch. : $(Fe,Ti)_2O_3$. Infusible. Se dissout à chaud dans l'acide chlorhydrique; quand on chauffe la liqueur décantée avec de l'étain elle prend une coloration violette.

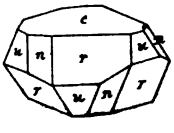


Fig. 504.

On trouve l'I. enchâssée comme élément accessoire dans les roches éruptives basiques (Diabases, Basaltes, etc.), où elle se transforme en Titanite compacte (*Leucoxène*). Elle se trouve aussi dans le Granite (Aschaffenburg) et surtout dans la Syénite (Sud de la Norvège, monts Ilmen dans l'Oural, etc.). On l'observe en cristaux implantés dans les fissures des Schistes cristallins au St.-Gothard et près de Bourg d'Oisans; elle se rencontre enfin à l'état massif et en grains plus ou moins roulés (*Isérine*) à Iserwiese; en grains ou à l'état arénacé (*Menaccanite*) en Cornouailles, à Egersund en Norvège, dans l'Amérique du Nord et dans les gisements aurifères de la Transylvanie. C'est dans ce minéral qu'on a découvert le titane.

X **CUPRITE.** — Cubique; cristallise le plus souvent sous forme d'octaèdres, de cubes et de rhombododécaèdres (fig. 75, 78 et 79); elle se présente aussi en masses grenues et en cristaux capillaires (*Chalcotrichite*).

Clivage assez parfait suivant les faces {111}. D. = 3 ½ à 4. P.S. = 5,7 à 6. Couleur rouge cochenille ou gris de plomb; poussière rouge brunâtre. Les faces offrent souvent un éclat adamantin métallique. Certains cristaux sont translucides et plus fortement réfringents que le Diamant; d'après Fizeau n = 2,849 pour les rayons rouges. Les cristaux deviennent noirs par l'exposition à l'air; ils sont souvent altérés superficiellement et transformés en Malachite : $Cu_2O + O + H_2O + CO_2 = CuCO_3 + Cu(OH)_2$. Quelquefois aussi la C. se réduit et se transforme en cuivre natif.

C. ch. : Cu_2O (89 °/₀ Cu, 11 °/₀ O). Sur le charbon la C. devient noire et fond en donnant un grain de cuivre. Elle est soluble dans l'acide nitrique.

On trouve souvent la C. à la partie supérieure (*chapeau de fer*) des gîtes de minerais de cuivre sulfurés, et fréquemment avec la Limonite. Elle se présente quelquefois sous forme de cristaux isolés ou réunis en druses et filonnets dans des masses argileuses. La C. existe au Chili, au Pérou, dans le sud de l'Australie, en Cornouailles, à Chessy près de Lyon, dans l'Oural, dans l'Arizona, etc. Dans certains cas elle se forme sur de vieilles monnaies. C'est un minerai de cuivre recherché.

La **Ténorite**, CuO, se présente en petites tables monocliniques à contours hexagonaux ou triangulaires, noires ou gris d'acier; c'est un produit de sublimation ($CuCl_2 + H_2O = CuO + 2HCl$). On la trouve au Vésuve. La **Mélaconise** est l'oxyde cuivrique noir et massif. Le **Massicot**, PbO, se rencontre à l'état pulvérulent et en lamelles rhombiques; sa couleur est le jaune passant au rougeâtre, éclat gras. D. = 2; P.S. = 8. Popocatepelt (Mexique).

Groupe B. — Hydroxydes.

OPALE. — Ce minéral est amorphe et se présente souvent en masses mamelonnées, réniformes, ou en stalactites. Il est cassant, sa cassure est conchoïdale ou irrégulière. D. = 5 ½ à 6 ½; P.S. = 1,9 à 2,3. Éclat vitreux, gras, quelquefois nacré; l'O. est transparente ou opaque, colorée de diverses couleurs. L'indice de réfraction peut varier de 1,41 à 1,45.

Sa composition chimique est, d'une manière générale $SiO_2.(H_2O)_x$, la teneur en eau varie entre 3 et 15 °/₀; c'est l'hydrate de l'anhydride silicique. L'O. donne de l'eau dans le tube fermé, décrépite au chalumeau et se dissout dans la potasse caustique.

L'O. se produit lors de la décomposition des silicates, elle se dépose de sources thermales, enfin elle est secrétée par certains animaux et plantes.

On distingue comme variétés d'O. :

L'Opale noble possédant des reflets irisés très prononcés; ces reflets se produisent sur des lamelles courbes extrêmement fines, qui sont également composées d'O.,

mais dont le pouvoir réfringent est légèrement différent de celui de la pierre même. Hongrie, Mexique, Australie.

La *Geysérite*, déposée par l'eau chaude des geysers. Islande, Yellowstone Park (États-Unis), Nouvelle Zélande.

L'*Hyalite*, incolore, transparente, à éclat gras ou vitreux, se présente souvent en enduits globulaires. Possède quelquefois une biréfringence négative énergique. Bohême, Schemnitz.

Le *Cacholong*, globulaire, mamelonné, blanc ou jaunâtre. Islande, Iles Féroë, etc.

L'*Opale de feu*, transparente, de couleur rouge hyacinthe ou jaune pâle. Mexique, etc.

L'*Opale commune* est transparente ou translucide, de couleur bleuâtre, jaune rougeâtre, quelquefois blanche, jaune, verte, rouge ou grise, Hongrie, etc.

L'*Hydrophane* est translucide mais devient transparente en s'imbibant d'eau.

Le *Tripoli* qui est une farine siliceuse formée de restes organiques, doit aussi se rattacher à l'Opale.

Enfin citons encore la *Semi-opale*, le *Jaspe-Opale*, la *Ménilite* et l'*Opale xyloïde*; cette dernière variété est une pétrification du bois.

Sassoline.— Acide borique $B(OH)_3$. La S. est triclinique et se trouve en Italie, dans les lagoni de Sasso (Toscane), comme produit de sublimation aux cratères volcaniques, sous la forme de croûtes blanchâtres, quelquefois colorées en jaune par du soufre, et qui sont constituées par un agrégat écailleux de petites tables à éclat nacré. La solution alcoolique brûle avec une flamme verte.

Hydrargillite. — $Al(OH)_3$; monoclinique à contours hexagonaux. Slatoust (Oural), Villarica (Brésil).

MANGANITE. — Rhombique; $a : b : c = 0{,}844 : 1 : 0{,}5447$. Les cristaux, très fréquents, présentent les formes $m = \{110\}$; $c = \{001\}$; $u = \{101\}$; $b = \{010\}$; $l = \{120\}$; $i = \{210\}$; $p = \{111\}$; $n = \{121\}$;

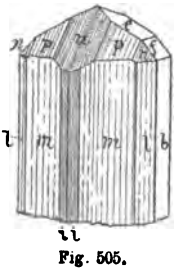


Fig. 505.

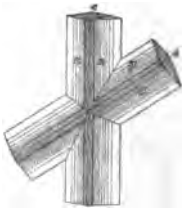


Fig. 506.

$e = \{011\}$; $f = \{021\}$; (fig. 505); le plus souvent les prismes verticaux m, i, l sont striés verticalement, et les faces u, p, n le sont parallèlement à l'arête $u : p$; (fig. 505). Les principaux angles sont : $(110) : (\bar{1}10) = 80°20'$; $(011) : (0\bar{1}1) = 57°10'$; $(111) : (\bar{1}\bar{1}1) = 49°11'$. Les macles par accolement ou par pénétration suivant les faces $\{011\}$ (fig. 506) sont très fréquentes. On rencontre très souvent des faisceaux de cristaux à axes plus ou moins parallèles; la base est alors constituée par les extrémités libres des cristaux réunis

dans le faisceau et offre un aspect rugueux. La M. se présente encore en masses radiées, fibreuses ou grenues. Clivage parfait suivant {010}; imparfait suivant {110}; cassure inégale; D. = 4; P.S. = 4,2 à 4,4. Couleur gris d'acier, gris de fer ou noir-brunâtre, poussière brun-rouge foncé, éclat métallique imparfait.

C. ch. : MnO.OH (62.4 °/₀ Mn; 27,3 °/₀ O; 10,3 °/₀ H_2O). Donne une perle violette avec le borax ou le sel de phosphore au feu d'oxydation, et un sirop violet avec l'acide phosphorique. Perd de l'eau dans le tube fermé. Soluble dans l'acide chlorhydrique avec dégagement de chlore.

L'oxydation transforme la M. en bioxyde de manganèse (Pyrolusite). On la trouve à Ilfeld dans le Hartz, dans le Nassau, à Ilmenau en Thuringe, en Cornouailles, en Suède, etc.

Gœthite. — Rhombique, isomorphe avec la Manganite, $a : b : c = 0{,}918 : 1 : 0{,}606$, se présente en cristaux allongés ou capillaires, quelquefois en prismes courts, d'autres fois en cristaux tabulaires par suite de la prédominance des faces {010}. Les faces verticales sont striées parallèlement à leur arête de combinaison. Les formes les plus communes sont: $m = \{110\}$; $b = \{010\}$; $p = \{111\}$; $e = \{011\}$; $a = \{100\}$; (fig. 507). Angles principaux : (110) : $(1\bar{1}0) = 85°7'$; (011) : $(0\bar{1}1) = 62°30'$; (111) : $(1\bar{1}1) = 53°42'$.

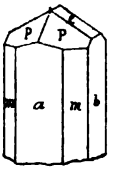


Fig. 507.

Clivage parfait suivant les faces $b = \{010\}$. D. = 5 à 5 ½; P.S. = 3,8 à 4,2. La G. en minces paillettes est transparente sur les bords; éclat adamantin ou soyeux. Couleur brun-noirâtre ou brun-jaunâtre. Poussière brun-jaunâtre clair.

C. ch. : FeO.OH. Donne de l'eau dans le tube fermé et se colore en rouge. Au Ch. sur le charbon avec la soude, la G. donne une masse attirable à l'aimant. Elle est soluble dans l'acide chlorhydrique.

La G. se trouve associée à la Limonite ou à l'Oligiste, dans le pays de Siegen, le Hartz, la Saxe, la Bohême, à Clifton près Bristol, en Cornouailles, au lac Supérieur, en Californie et dans l'Orégon.

Comme variétés de G. on distingue :

La *Sammtblende* qui se présente sous forme d'un enduit globulaire finement fibreux, à surface compacte et d'aspect velouté, sur Calcite; Przibram. Le *Rubinglimmer* est la variété de G. en cristaux tabulaires ou en fines paillettes rouges par transmission; Eiserfeld (Westphalie), Raschau (Saxe), etc. La *Lepidocrocite* se présente en masses écailleuses, fibreuses ou grenues, avec surface globulaire ou mamelonnée; Sayn (Prusse rhénane), Easton (Pensylvanie).

On rencontre aussi la G. comme pseudomorphose de la Pyrite.

Diaspore. — Rhombique, isomorphe avec la Manganite; il se présente en cristaux tabulaires possédant un clivage parfait suivant {010}, ou en agrégats lamellaires, il est cassant; D. = 6; P.S. = 3,5; éclat vitreux ou nacré; incolore, gris, blanc, jaunâtre ou brunâtre; transparent; Opt. + P.A. ∥ (010), Ba ⊥ (100). C. ch. : AlO. OH. Infusible, décrépite au Ch., insoluble dans les acides. Le D. est un produit de décomposition de roches riches en alumine. Greiner (Zillerthal), Schemnitz (Hongrie), Campolungo (Tessin).

LIMONITE. — (Du grec λειμών = prairie). — Ce minéral ne se présente jamais en cristaux nets, mais en fibres cristallines très fines, qui se réunissent en masses sphéroïdales, réniformes ou stalactitiques à structure radiée ou fibreuse; on rencontre aussi des masses compactes, terreuses, pisolithiques ou oolithiques. C'est le minerai de fer le plus stable; tous les autres minéraux ferrifères peuvent se transformer en L., ce qui explique l'abondance des pseudomorphoses qu'elle forme.

La L. est cassante, cassure inégale ou fibreuse; D. = 5 à 5 ½; P.S. = 3,5 à 3,96. Couleur brune, brun-jaunâtre ou noirâtre. Poussière brun-jaunâtre.

C. ch. : Fe_4O_5 $(OH)_6$ ou $Fe_2O_3.Fe_2$ $(OH)_6$, (85,6 % Fe_2O_3; 14,4 % H_2O); les analyses accusent ordinairement la présence d'un peu de silice et de manganèse. Soluble dans les acides, mêmes réactions que la Goethite.

La L. est toujours un produit de décomposition d'autres minerais de fer; de la Pyrite, de la Marcasite, de la Sidérite, de la Magnétite, de l'Oligiste, des Silicates à protoxyde de fer, etc.; elle se trouve en filons, surtout dans la partie supérieure des filons de minerais sulfurés (*Chapeau de fer*), en amas stratifiés (L. oolithique, *Fer de prairie* ou *de marais*, Minette, etc.), et comme remplissage de cavités irrégulières ou *poches* dans certains Calcaires et Dolomies. La L. est extrêmement répandue (Westphalie, Hartz, Luxembourg, Bavière, Saxe, Ecosse, Suède, etc.).

Les principales variétés de L. sont les suivantes : *L. fibreuse* qui forme des concrétions sphéroïdales, réniformes ou stalactitiques et des enduits; elle est noire, luisante, quelquefois irisée; sa cassure est fibreuse. La *L. compacte*, ordinairement massive, mais se présentant aussi en concrétions comme la L. fibreuse; elle s'en distingue par sa cassure qui est conchoïdale et terne. La *L. terreuse*, se présentant en enduits, en imprégnations et en masses très tendres qui tachent les doigts; elle est brune ou brun-jaunâtre. Cette variété mélangée à une quantité plus ou moins grande d'Argile constitue les *Ocres jaunes*. La *L. pisolithique* se présente en grains ou en agrégats sphéroïdaux de la grosseur d'un pois, ou plus grands, formés de couches concentriques; ces grains sont ordinairement réunis par un ciment; quand ils sont de petite dimension le minéral prend le nom de *L. Oolithique*. Le *Minerai des marais*, qui contient toujours une certaine quantité de silice et d'acide phosphorique, forme des dépôts et des concrétions dans certaines régions marécageuses ou sablonneuses.

La L. joue un rôle très important dans la métallurgie du fer; les Ocres sont utilisées comme couleurs (*Terre de Sienne*, etc.).

BEAUXITE. — Massive, oolithique ou terreuse, ressemblant à l'Argile; elle est blanchâtre, jaune ou jaune-brunâtre. C. ch. : Al_2O $(OH)_4$ ou $Al_2O_3.2H_2O$. On la trouve en couches très épaisses aux Beaux près d'Arles (Provence), à Freisteritz (Ukraine), aux États-Unis, etc. La B. est un minerai important pour l'extraction de l'aluminium et pour la préparation des sels de ce métal; on l'emploie aussi pour la fabrication de creusets réfractaires, etc.; aussi la consommation annuelle de ce minéral dépasse-t-elle 70,000 tonnes.

A la Beauxite se rattachent par leur composition la **Xanthosidérite** $Fe_2O(OH)_4$ et la **Winklérite** $(Co, Ni)_2O(OH)_4$.

Brucite. — Hexagonale, rhomboédrique; cristaux tabulaires par la prédominance des faces $\times\{0001\}$; éclat nacré; la B. est flexible en lames minces; elle ressemble au Talc. Clivage parfait suivant $\times\{0001\}$. D. = 2 ½; P.S. = 2,4. Incolore ou verdâtre; opt. +. C. ch. : $Mg(OH)_2$; infusible, soluble dans les acides. Ce minéral est intéressant au point de vue géologique parce qu'il s'est formé parfois par métamorphisme de la Dolomie: cette roche s'est transformée en un mélange de B. et de Calcite. Dans le Calcaire de contact à Predazzo (Tyrol), souvent aussi associée à la Serpentine, Hoboken (New-Jersey), Texas (Pensylvanie); ou en masses compactes dans le Calcaire, Filipstad (Suède).

La **Manganobrucite** $(Mg, Mn)(OH)_2$, la **Ferrobrucite** $(Mg, Fe)(OH)_2$ et la **Pyrochroïte** $Mn(OH)_2$ sont rhomboédriques et probablement isomorphes avec la Brucite.

Groupe C. — Oxysulfures.

Kermésite. — Monoclinique; se présente en aiguilles cristallines à éclat adamantin, allongées suivant l'axe *b* et colorées en rouge cerise. Clivage parfait suivant $\{001\}$. D. = 1 ½; P.S. = 4, 5. C.ch. : Sb_2S_2O. La K. donne au Ch. les mêmes réactions que la Stibine; soluble dans l'acide chlorhydrique et dans la potasse caustique. Bräunsdorf (Saxe), Przibram, Allemont, Southham (Canada).

Voltzine. — On la trouve en petits globules et en concrétions réniformes à structure sphéroïdale. D. = 4 ½; P.S. = 3, 5. — Elle est colorée en rouge-brique, en jaune ou en brun; éclat adamantin; transparente ou opaque. C.ch. : Zn_5S_4O. Rosiers près de Pontgibaud (Auvergne); Joachimsthal (Bohême).

IVe CLASSE. — SELS HALOÏDES.

Les sels dont la constitution est la plus simple sont ceux des acides dits haloïdes (acides chlorhydrique HCl, *iodhydrique* HI, *bromhydrique* HBr, *fluorhydrique* HFl*); on peut les considérer comme dérivant de ces acides par le remplacement de l'hydrogène par un métal.*

Groupe A. — Sels Haloïdes simples.

SYLVINE. — Cubique; les formes ordinaires sont le cube $\{100\}$ et l'octaèdre $\{111\}$, (fig. 74); on rencontre rarement d'autres formes. L'humidité fait apparaître sur les faces de $\{100\}$ des figures de corrosion dont les contours ne sont pas parallèles aux arêtes du cube (fig. 508).

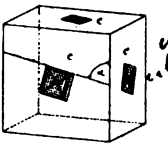


Fig. 508.

La S. se présente quelquefois en masses grenues. Clivage parfait suivant les faces $\{100\}$; D. = 2; P.S. = 1,9 à 2. n = 1,4903 (rayons jaunes). La S. est incolore ou blanche, à éclat vitreux; elle est fortement diathermane, et possède une saveur saline

comme le chlorure de sodium, mais qui est en meme temps très amère.

C. ch. : KCl; (52,35 °/. K; 47,65 °/. Cl), facilement fusible, colore la flamme en violet.

On trouve la S. à Stassfurt et à Kalusz (Galicie); et quelquefois comme produit de sublimation, au Vésuve, en croûtes blanchâtres revêtues de petits cubes.

C'est un minéral important, employé surtout à la préparation de divers sels de potassium : chlorure, nitrate, alun, etc.; on l'utilise aussi comme engrais.

Salmiac. — Cubique, présente ordinairement les faces {111} ou {110} et {311}. Clivage imparfait suivant les faces {111}; D. = 1 ½; P.S. = 1,5. n = 1,6422 (rayons jaunes). Incolore ou coloré en jaune ou en brun; éclat vitreux. Possède une saveur saline piquante. C. ch. : NH_4Cl. Le S. se volatilise sans se fondre; il exhale une forte odeur d'ammoniaque quand on le chauffe avec la soude caustique ou avec la chaux. Le S. se présente plus souvent que la Sylvine comme produit de sublimation sur les laves. Etna, Volcano, Vésuve, Stromboli, etc.; il se sublime aussi lors des incendies de houillères; enfin ce minéral se forme dans le Guano.

SEL-GEMME. — Cubique; présente presque toujours les faces du cube; quelquefois, mais rarement, on observe d'autres faces, telles que {111} ou {210}. Les contours des figures de corrosion produites par l'humidité sont parallèles aux arêtes du cube. Les cristaux artificiels présentent d'ordinaire des faces en trémies (fig. 509).

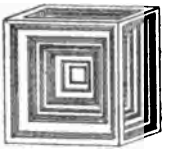


Fig. 509.

Clivage parfait suivant les faces {100}. Les figures de percussion qu'on obtient en enfonçant d'un coup sec un poinçon dans une face du cube, se composent de quatre rayons parallèles aux diagonales de la face. D. = 2; P.S. = 2,1 à 2,2. Quand le S. g. est pur, il est incolore et transparent, mais il est souvent coloré en jaune, rouge, bleu, vert ou gris. Éclat vitreux. n = 1,5442; saveur saline caractéristique. Ce minéral est fortement diathermane.

C. ch. : NaCl; (39,3 °/. Na; 60,7 °/. Cl.); il décrépite et fond facilement dans le matras; il colore la flamme en jaune.

Le S. g. est ordinairement associé au Gypse; c'est un minéral très répandu, on le trouve en cristaux, en masses compactes et en agrégats à structure fibreuse ou grenue, dans des couches sédimentaires d'origine marine appartenant à diverses formations, surtout dans le Permien, le Triasique et dans les terrains tertiaires. Il est généralement rendu impur par la présence d'Argile et d'autres substances. Il se présente quelquefois en cristaux dans les fissures des roches où les eaux souterraines, saturées de S. g. par leur passage au travers d'amas de ce minéral, peuvent venir s'évaporer. Les principaux gisements de S. g. sont ceux de Stassfurt (Hartz);

Wieliczka, Bochnia, Kalusz (Galicie); Ischl, Aussee, Hallstatt (Alpes); Roumanie; Transylvanie: Cardona (Catalogne); Bex, etc.

Les usages du S. g. sont nombreux et importants; il sert comme engrais, on l'utilise dans l'économie domestique, dans l'industrie chimique pour la fabrication de divers sels de sodium (carbonate, sulfate, etc.) et d'autres produits tels que l'acide chlorhydrique, le salmiac etc.; on l'emploie en métallurgie et dans l'industrie verrière; pour le vernissage des poteries, pour la fabrication du savon, etc. La production annuelle totale du S. g. s'élève à plus de onze millions de tonnes.

Kérargyrite. — Cubique. Les cristaux, très rares, présentent les faces du cube {100}. On trouve ordinairement la K. en croûtes compactes qui sont d'abord translucides, mais deviennent rapidement opaques à la lumière, et sont colorées en gris-bleuâtre ou en verdâtre. Eclat adamantin; sectile, D. = 1 $^1/_2$; P.S. = 5,6. C. ch. : AgCl (75,3 % Ag). La K. fond facilement au Ch. et donne avec la soude un bouton d'argent. Elle est soluble dans l'ammoniaque.

La K. se rencontre quelquefois en masses assez grandes dans les filons argentifères; Chili, Pérou, Mexique, États-Unis, etc.

La **Bromargyrite** AgBr, l'**Embolite** Ag (Cl,Br) et l'**Iodobromite** Ag (Cl,Br,I) sont isomorphes avec la Kérargyrite, mais beaucoup plus rares. L'**Iodyrite** AgI est hexagonale.

FLUORINE. — Cubique; les formes les plus communes sont le cube $c = \{100\}$, l'octaèdre $o = \{111\}$ et le rhombododécaèdre $d = \{110\}$; (voir fig. 74, 75, 77 et 78). On observe aussi des cristaux présentant des

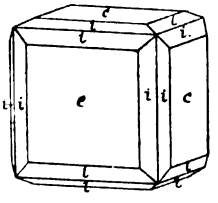


Fig. 510.

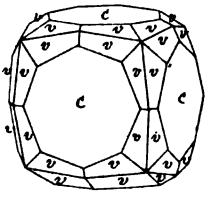


Fig. 511.

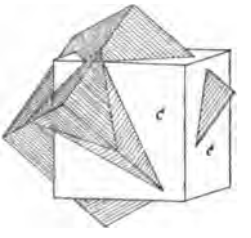


Fig. 512.

tétrakishexaèdres, tels que $i = \{310\}$ (fig. 510), des ikositétraèdres ou des hexakisoctaèdres, par exemple $v = \{421\}$ (fig. 511 et 85). Des macles par pénétration suivant {111} sont très fréquentes (fig. 512); les faces sont souvent striées parallèlement aux arêtes du cube; ces stries partent des points où une arête de l'individu maclé émerge de la face (fig. 512). Clivage parfait suivant {111}; D. = 4; P.S. = 3,2. Les figures d'attaque sont des dépressions répondant aux formes {311} ou {310}. Éclat vitreux quelquefois légèrement gras. n = 1,4339 (rayons jaunes).

La F. est transparente ou opaque; incolore ou colorée en jaune, vert, bleu, violet ou rouge. Quelquefois on observe une structure zonaire de diverses couleurs. On attribue ces couleurs à des hydrocarbures provenant de

matières organiques contenues dans la solution où les cristaux se sont formés. Les cristaux doués de belles teintes vertes, comme ceux du Devonshire, offrent d'une manière très nette le phénomène de la fluorescence (voir page 157). La variété à laquelle on a donné le nom de *Chlorophane* devient phosphorescente sous l'influence de la chaleur.

C. ch. : $CaFl_2$. (51,3 °/₀ Ca; 48,7 °/₀ Fl). Au Ch. la F. décrépite, et fond quand elle est réduite en écailles minces, en se transformant en chaux vive; avec le Gypse elle fond en une perle limpide qui se trouble après refroidissement. Elle est peu soluble dans l'acide chlorhydrique ou dans l'acide nitrique; l'acide sulfurique concentré la décompose avec dégagement d'acide fluorhydrique.

La F. est très répandue, on la trouve en cristaux dans des filons métallifères, surtout dans les filons plombifères et stanifères, ainsi que dans les Pegmatites, les roches schistocristallines et les Calcaires métamorphiques; Saxe, Bohême, Kongsberg, Cornouailles, Devonshire, Cumberland, etc. Quelquefois la F. se présente à l'état compacte ou en concrétions dans des filons, comme à Stolberg (Hartz), Liebenstein (Thuringe), et dans le Morvan.

La F. est utilisée en métallurgie comme fondant; elle sert à la préparation de l'acide fluorhydrique, et on l'emploie pour la gravure sur verre; les industries verrière et céramique en font usage pour la préparation de certains émaux, etc. Les variétés qui présentent de belles couleurs sont employées pour la confection de petits objets d'ornement, et on utilise les grandes masses à nuances variées, comme pierres d'ornement pour cheminées, guéridons, etc.

A la F. se rattachent par leur composition la **Chlorocalcite** $CaCl_2$ qui est cubique, la **Sellaite** $MgFl_2$, la **Scacchite** $MnCl_2$, et la **Lawrencite** $(Fe,Ni)Cl_2$, qui sont probablement tétragonales; et enfin la **Molysite** $FeCl_3$ et la **Tysonite** $(Ce,La,Di)Fl_3$ qui sont hexagonales.

Calomel. — Cristaux tétragonaux de couleur jaune ou grise; éclat adamantin; double réfraction + énergique : $n_\omega = 1,96$; $n_\varepsilon = 2,60$ (rayons rouges). Le C. est sectile; D. = 1 à 2; P.S. = 6,4 à 6,5. C. ch. : Hg_2Cl_2; donne dans le matras un sublimé blanc, et des gouttelettes de mercure quand on le chauffe avec la soude; on le trouve à Landsberg, Almaden, Idria.

La **Nantockite** Cu_2Cl_2 et la **Marshite** Cu_2I_2 sont cubiques; la **Cotunnite** $PbCl_2$ rhombique, se rencontre parmi les produits de sublimation au Vésuve.

Nous plaçons à la fin de ce groupe la **Bischofite** $MgCl_2 . 6H_2O$, qui se trouve en masses compactes ou cristallines à Leopoldshall (Anhalt), et la **Fluellite** $AlFl_3 . H_2O$ qu'on rencontre dans les filons stannifères de Cornouailles.

Groupe B. — Sels Haloïdes doubles.

CARNALLITE. — Rhombique; $a : b : c = 0,597 : 1 : 1,389$; la symétrie des formes se rapproche de celle du système hexagonal. Les formes les plus communes sont : $m = \{110\}$; $p = \{111\}$; $s = \{223\}$; $v = \{021\}$; $i = \{043\}$;

$b = \{010\}$, $c = \{001\}$(fig. 513). Angles principaux : (110) : $(1\bar{1}0) = 61°23'$; (111) : $(11\bar{1}) = 72°40'$. La C. se présente ordinairement en masses cristallines à gros grains, blanc de lait ou colorées en rouge pâle par des paillettes d'Oligiste micacé. D. = 1; P.S. = 1,6. Saveur amère.

C. ch. : $MgCl_2 . KCl . 6H_2O$. Phosphorescente, facilement fusible avec coloration de la flamme en violet. Déliquescente; en additionnant peu-à-peu la C. d'une petite quantité d'eau, on peut en extraire le chlorure de magnésium par dissolution, tandis que le chlorure de potassium se dépose à l'état cristallin.

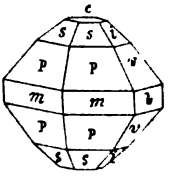


Fig. 518.

On trouve la C. à Stassfurt et à Kalusz. C'est un minéral très important pour la préparation des sels de potassium. La mine de Stassfurt en fournit environ 7000 tonnes par an.

Tachydrite. — Rhomboédrique; se présente en nodules arrondis jaunâtres, clivables suivant le rhomboèdre. C. Ch. : $2MgCl_2 . CaCl_2 . 12H_2O$. La T. est très déliquescente, et cette propriété lui a fait donner son nom. On la trouve à Stassfurt.

La **Douglasite** $FeCl_2 . 2KCl . 2H_2O$, l'**Erythrosidérite** $FeCl_5 . 2KCl . H_2O$ et la **Kremersite** $FeCl_5 . 2(K, NH_4) Cl . H_2O$, se rencontrent à Stassfurt avec la Tachydrite.

CRYOLITE — (Du grec κρύος = glace, λίθος = pierre). — Monoclinique; $a : b : c = 0,9662 : 1 : 1,3882$, $\beta = 90°11'$; les formes dominantes sont : $m = \{110\}$ et $c = \{001\}$; on observe encore $l = \{011\}$, $v = \{101\}$, $h = \{10\bar{1}\}$, (fig. 514). Les angles (110) : $(1\bar{1}0) = 88°2'$ et (001) : (110) = 89°52' sont presque égaux à 90°, ce qui fait que la combinaison {110}, {001} ressemble à un cube. Les faces *m* sont striées parallèlement aux arêtes *m* : *c*, *m* : *l*, etc., comme on le voit dans la figure 514.

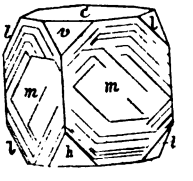


Fig. 514.

Clivage parfait parallèlement à *c*, un peu moins parfait suivant *m*; D. = 3; P.S. = 2,95. La C. est blanche, grisâtre, jaunâtre, rougeâtre ou incolore; éclat vitreux tirant sur le mat.

C. ch. : $AlFl_3 . 3NaFl$. Fusible à la flamme d'une bougie, colore la flamme en jaune; devient opaque en se solidifiant. Chauffée dans le matras elle dégage de l'acide fluorhydrique.

La C. forme des masses considérables dans un Gneiss stannifère à Ivigtut au Groenland, elle est associée à la Cassitérite, à la sidérose et à des sulfures; on la trouve aussi près de Miask dans l'Oural et à Pikes Peak (Colorado).

La C. est un minéral important pour l'extraction de l'aluminium et la préparation de l'acide fluorhydrique; les mines d'Ivigtut en fournissent par an plus de 18000 tonnes.

On trouve avec la Cryolite les fluorures suivants : la **Chiolithe** $3AlFl_3 . 5NaFl$; la **Prosopite** $2Al(Fl, OH)_3 . Ca(Fl, OH)_2$; la **Pachnolithe** $AlFl_3 . NaCaFl_3 . H_2O$; la

Gearksutite Al $(Fl,OH)_5.CaFl_2.H_2O$ et la **Ralstonite** $3Al(Fl, OH)_5.(Na_2,Mg)Fl_2.2H_2O$. L'**Yttrocérite** $(Y,Er,Ce)\ Fl_5.5CaFl_2.H_2O$ se rencontre en enduits compacts à Finbo et Broddbo (Suède); la **Hiératite** $SiFl_4, 2KFl$ et la **Kryptohalite** $SiFl_4.2(NH_4)Fl$ s'observent sur les laves du Vésuve.

Groupe C. — Oxychlorures et Oxyfluorures.

Atacamite. — Rhombique; $a : b : c = 0,662 : 1 : 0,753$; les formes dominantes sont, $m = \{110\}$, $e = \{011\}$ et $b = \{010\}$; les cristaux sont ordinairement allongés suivant le prisme m, dont les faces sont striées verticalement. Clivage parfait suivant $\{010\}$; Cassante; D. = 3 1/2; P.S. = 3,7. La couleur de l'A. est le vert-émeraude foncé; la poussière est vert-pomme. Eclat vitreux, translucide ou transparente. P.A. $\parallel (010)$; $B_a \perp (010)$ C. ch. : $Cu(OH)Cl.\ Cu(OH)_2$. Sur le charbon elle fond en colorant la flamme en bleu verdâtre et donne un bouton de cuivre. Soluble dans les acides et dans l'ammoniaque.

L'A. se rencontre en beaux cristaux et en masses à structure rayonnée, compacte ou terreuse, dans le *chapeau de fer* des gîtes cuprifères à Atacama (Chili), Tarapaca (Bolivie), Burra-Burra (Australie).

A l'Atacamite se rattache par sa composition la **Percylite** $Cu(OH)Cl.Pb(OH)Cl$, qu'on rencontre dans des filons argentifères au Chili et au Mexique. — Les oxychlorures de plomb : la **Matlockite** Pb_2OCl_2, la **Mendipite** $Pb_5O_2Cl_2$, la **Schwarzembergite** $Pb_5O_2(I,Cl)_2$, la **Penfieldite** Pb_5OCl_4, et la **Laurionite** $Pb(OH)Cl$ sont des produits de décomposition d'autres minerais de plomb. — Les oxyfluorures : la **Nocérine** $(Mg,Ca)_2OFl_4$ qui s'observe dans les Tufs volcaniques de Nocera près de Naples, et la **Fluocérite** $(Ce, La, Di)_2OFl_4$ des Pegmatites de Fahlun (Suède), sont des minéraux hexagonaux.

Ve CLASSE. — NITRATES, IODATES, CARBONATES, SÉLÉNITES, MANGANITES, PLOMBATES.

Cette classe comprend les sels des acides HNO_3, HIO_3, H_2CO_3, H_2SeO_3, H_2TeO_3, H_2MnO_3, H_4MnO_4, H_4PbO_4.

Groupe A. — Nitrates, Iodates.

NITRATINE. — Hexagonale, rhomboédrique; $a : c = 1 : 0,8276$; se présente en cristaux qui ne montrent le plus souvent que le rhomboèdre $\varkappa\{10\bar{1}1\}$; l'angle des arêtes polaires est de 73°30'.

Clivage parfait suivant $\varkappa(10\bar{1}1)$; D. = 1 1/2 à 2; P.S. = 2,3. Double réfraction énergique —, $n_\omega = 1,58739$, $n_\varepsilon = 1,33608$. La N. est incolore ou rose.

C. ch. : $NaNO_3$. Facilement fusible, colore la flamme en jaune; fuse sur les charbons ardents. Déliquescente.

La N. se trouve en masses impures, à structure grenue, dans le désert d'Atacama, entre la Cordillère de la Côte et la Cordillère des Andes, à la

frontière du Chili et du Pérou; elle y forme un gisement (*Salares et Nitrières*) de 0,50 à 2 m. d'épaisseur et d'une étendue de 40 kilomètres.

La N. sert à la préparation de l'acide nitrique et du salpêtre (KNO_3); l'agriculture en consomme de grandes quantités comme engrais. Le gisement d'Atacama fournit annuellement plus d'un million de tonnes de N.

Nitre ou Salpêtre. — Rhombique, $a:b:c = 0,584:1:0,703$; formes dominantes : $\{110\}$, $\{010\}$, $\{021\}$. Angles : $(110):(1\bar{1}0) = 61°11'$; $(021):(0\bar{2}1) = 109°5'$; macles fréquentes suivant une face de $\{110\}$. D. = 2; P.S. = 2. Cassure conchoïdale. Le N. est incolore, blanc ou gris; éclat vitreux; optiquement —; P.A. ‖ (100); $B_a \perp (001)$. $n_\alpha = 1,3346$; $n_\beta = 1,5056$; $n_\gamma = 1,5064$; $V_a = 3°$.

C. ch. : KNO_3 (46,5 °/₀ K); soluble dans l'eau; facilement fusible, colore la flamme en violet et fuse sur les charbons ardents. La saveur du N. est fraîche et salée.

Le N. se présente dans la nature en cristaux très allongés, et sous forme d'efflorescences, d'enduits terreux ou d'incrustations à structure finement grenue. On le trouve mélangé avec d'autres sels à Ceylan, en Calabre, etc., et en efflorescences à la surface du sol en Aragon, en Hongrie, aux Indes Orientales et surtout en Algérie. Le N. sert à la fabrication de la poudre, il est employé comme fondant dans les verreries, comme mordant en teinture, etc.

A ce groupe appartiennent encore la **Nitrobarite** $Ba(NO_3)_2$ et la **Lautarite** $Ca(IO_3)_2$ qui accompagnent la Nitratine à Atacama, et la **Gerhardtite** $Cu(OH)_2.(Cu.OH)NO_3$ qu'on rencontre dans l'Arizona (Etats-Unis).

Groupe B. — Carbonates.

Les Carbonates forment un groupe important du règne minéral; on y distingue trois divisions : 1° les Carbonates neutres, 2° les Carbonates basiques, 3° les Carbonates hydratés.

1. — Première Division.

Cette division qui comprend les Carbonates neutres se divise en deux séries, l'une hexagonale et l'autre rhombique.

Série Hexagonale.

CALCITE. — (Du latin *calx* = chaux). — Hexagonale, rhomboédrique; $a:c = 1:0,8543$. L'angle des arêtes culminantes du rhomboèdre primitif $r = \varkappa\{10\bar{1}1\}$ (fig. 515) est de 74°55'. Il est rare de rencontrer le rhomboèdre primititif autrement qu'en combinaison. Les formes les plus communes sont : $a = \varkappa\{10\bar{1}0\}$, $g = \varkappa\{01\bar{1}2\}$, $v = \varkappa\{21\bar{3}1\}$, $d = \varkappa\{11\bar{2}0\}$, $f = \varkappa\{02\bar{2}1\}$, $m = \varkappa\{40\bar{4}1\}$; elles sont représentées, seules ou en combinaisons, dans les figures 516, 517, 519, 522, 523, 524, 525 et 528. Le scalénoèdre $v = \varkappa\{21\bar{3}1\}$ qui est très fréquent, est souvent déformé comme le montre la figure 520. Les cristaux présentent quelquefois des rhomboèdres et des

scalénoèdres très aigus, par exemple le rhomboèdre négatif $i = \varkappa\{05\bar{5}1\}$ (fig. 518), et le scalénoèdre $n = \varkappa\{43\bar{7}1\}$ (fig. 521).

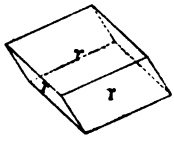


Fig. 515.

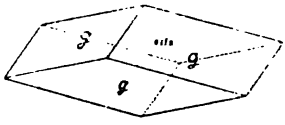


Fig. 516.

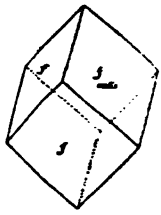


Fig. 517.

Les rhomboèdres $\varkappa\{10\bar{1}4\}$, $g = \varkappa\{01\bar{1}2\}$, $r = \varkappa\{10\bar{1}1\}$, $f = \varkappa\{02\bar{2}1\}$, $m = \varkappa\{40\bar{4}1\}$, $h = \varkappa\{08\bar{8}1\}$ etc., forment une série remarquable, parce

Fig. 518.

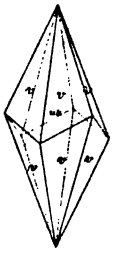


Fig. 519.

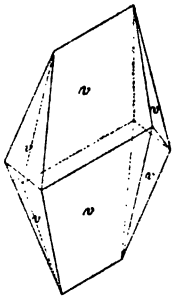


Fig. 520.

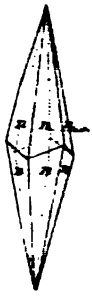


Fig. 521.

que les arêtes culminantes de chacun d'entre eux sont tronquées normalement par les faces du rhomboèdre qui le précède dans la série : les arêtes

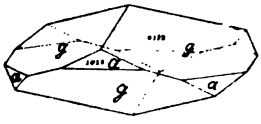


Fig. 522.

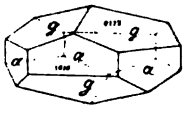


Fig. 523.

culminantes de r sont tronquées par les faces de g (fig. 526), et celles de f sont tronquées par les faces de r (fig. 527). Aux formes indiquées ci-dessus

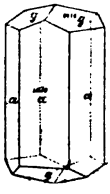


Fig. 524.

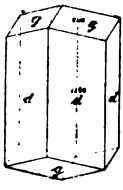


Fig. 525.

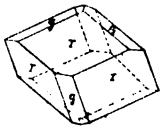


Fig. 526.

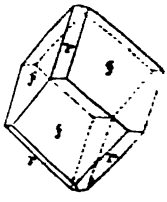


Fig. 527.

viennent s'en ajouter d'autres plus rares; le nombre total des formes qui ont été observées dépasse 200. Nous mentionnerons encore $c = \varkappa\{0001\}$,

$h = \varkappa\{8081\}$, $l = \varkappa\{50\bar{5}2\}$, $y = \varkappa\{53\bar{8}2\}$, $t = \varkappa\{32\bar{5}1\}$, $z = \varkappa\{41\bar{5}6\}$, $w = \varkappa\{31\bar{4}5\}$, qui se montrent dans les combinaisons représentées par les figures 529 à 532. La figure 533 donne une projection stéréographique sur la base *c*, de quelques-unes des formes et des principales zones de la C. : 1° *Prismes :* protoprisme = *a* ; deutéroprisme = *d* ; 2° *Rhomboèdres :*

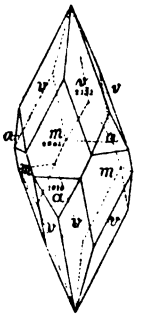


Fig. 528.

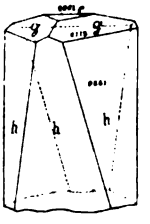


Fig. 529.

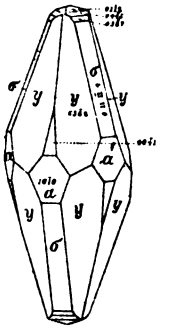


Fig. 530.

positifs = *m*, *l*, *r* ; négatifs = *h*, *f*, *r'*, *g* ; 3° *Scalénoèdres :* positifs = *t*, *v*, *s*, *w* ; négatifs = *x*.

Les macles les plus fréquentes sont celles suivant la base $\varkappa\{0001\}$ (fig. 534 et 535), et suivant le rhomboèdre $g = \varkappa\{01\bar{1}2\}$ (fig. 273 et 536 ; $v = \varkappa\{21\bar{3}1\}$ est déformé comme dans la figure 520) ; cette dernière macle est souvent

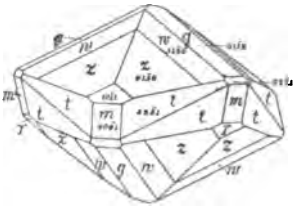


Fig. 531.

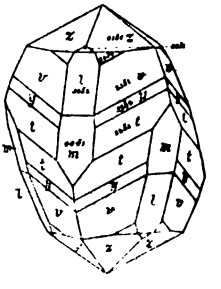


Fig. 532.

répétée et constitue ainsi une série de lamelles polysynthétiques (fig. 537). C'est surtout le cas pour les grains dont l'agrégation forme les Calcaires cristallins (fig. 2). On peut produire cette macle artificiellement ainsi qu'il a été dit page 105. On observe aussi des macles suivant le rhomboèdre $r = \varkappa\{10\bar{1}1\}$, dites *macles en cœur* (fig. 538), et suivant le rhomboèdre $f = \varkappa\{02\bar{2}1\}$ (fig. 539). Les faces *g*, *v* et *d* sont ordinairement striées parallèlement à leur arête de combinaison avec *r*. La face *c* est souvent mate ou rugueuse et présente quelquefois un reflet nacré.

Clivage très parfait suivant *r*. Cassure écailleuse masquée par la facilité

du clivage; D. = 3, mais varie avec la direction; les Calcaires terreux sont plus tendres. P. S. = 2,6 à 2,8. Double réfringence négative énergique. $n_\omega = 1,65382$; $n_\varepsilon = 1,48418$. Par suite de cette propriété la C. donne, en sections minces, des couleurs de polarisation irisées et extrêmement vives.

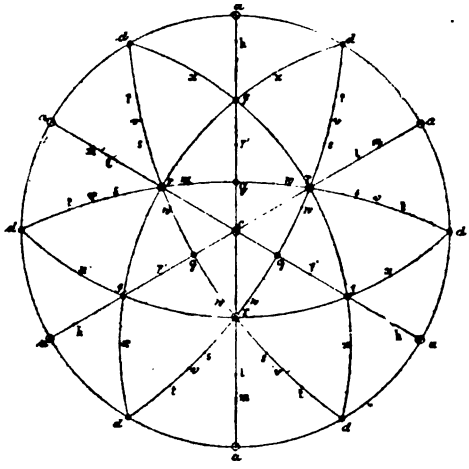


Fig. 533.

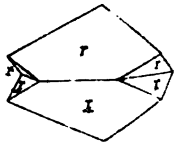


Fig. 534.

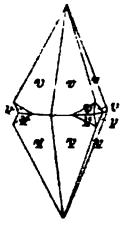


Fig. 535.

La C. est souvent incolore et transparente; souvent aussi elle est opaque et colorée; les couleurs les plus communes sont le blanc, le jaune, le brun, le vert et le rouge; le bleu et le noir sont plus rares.

C. ch. : $CaCO_3$ (56 % CaO, 44 % CO_2); la C. contient ordinairement des

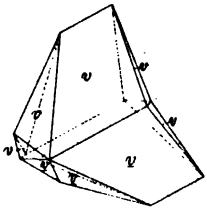


Fig. 536.

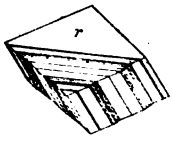


Fig. 537.

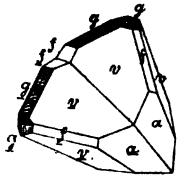


Fig. 538.

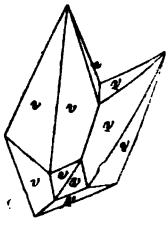


Fig. 539.

quantités plus ou moins fortes de carbonates de magnésium, de fer, de manganèse, etc.; elle est infusible, mais devient blanche et opaque sous l'action de la chaleur et se transforme finalement en chaux vive qui brille d'un très vif éclat. Elle fait effervescence, par dégagement d'anhydride carbonique, avec les acides, même quand ils sont faibles ou très dilués.

Les variétés de la C. sont nombreuses, elles dépendent de différences dans le mode de cristallisation et dans la structure, les extrêmes de la série étant des cristaux parfaits et des masses terreuses; elles dépendent aussi de la composition qui est variable à cause de l'isomorphisme de la C. avec les autres carbonates rhomboédriques.

Notons d'abord la C. cristallisée, se présentant sous forme de cristaux implantés, transparents ou laiteux; ces cristaux sont répandus en abondance : on les rencontre dans les filons métallifères (Andreasberg, Erzgebirge, Przibram, Cumberland, Derbyshire, etc.). dans les fentes et cavités des Schistes cristallins, des roches éruptives (Obersteinen, Oldenbourg), et surtout des roches sédimentaires calcareuses.

La variété la plus pure constitue des masses très limpides désignées sous le nom de *Spath d'Islande*, et recherchées pour la construction de Nicols et d'autres instruments d'optique. Ce Spath qui ne renferme que des traces d'impuretés, remplit une grande cavité dans un Basalte amygdaloïde à Helgastad sur l'Eskifjord en Islande. Ces gisements sont presque épuisés. On rencontre à Auerbach (Bergstrasse) des masses spathiques de C. qui ressemblent au Spath d'Islande, mais qui sont moins limpides et renferment des lamelles maclées suivant *g*.

Les *Stalactites* et les *Stalagmites* sont de la C. concrétionnée déposée par les eaux saturées de carbonate de calcium, et se rencontrent surtout dans les cavités ou grottes des Calcaires. Quand les couches successivement déposées offrent des nuances différentes, le minéral prend le nom d'*Albâtre calcaire*. L'*Albatre oriental* d'Egypte possède une structure finement fibreuse qui lui donne un fort bel éclat soyeux. Le *Marbre coquiller* ou *Lumachelle* (Bleiberg en Carinthie) est caractérisé par des couleurs chatoyantes très belles, dues à de nombreuses coquilles que renferme ce marbre. Le *Grès cristallisé* de Fontainebleau est de la C. cristallisée en rhomboèdres ($f = \varkappa\{02\bar{2}1\}$) et renfermant jusqu'à 80 °/₀ de grains de sable. La *Craie* est du carbonate de calcium en poudre fine, formant des masses friables constituées par des carapaces de foraminifères.

Une variété très importante est le *Marbre*, qui se présente sous forme de masses considérables à structure grenue ou compacte, à couleurs très variées (blanc, bleu pâle, jaune, rouge, etc.). Quand le Marbre est d'un blanc plus ou moins pur et que sa structure est finement granuleuse, il prend le nom de *Marbre statuaire* (Carrare en Italie, Paros et Pentélique en Grèce).

Les *Pisolithes* et les *Oolithes* sont constituées par des concrétions calcareuses en forme de grains arrondis, de différentes grosseurs et cimentés par du carbonate de calcium. Beaucoup de couches sédimentaires sont formées de débris calcaires d'organismes, mollusques, coraux, crinoïdes, foraminifères, etc. Ces roches calcareuses donnent par métamorphisme des Calcaires cristallins, du Marbre saccharoïde, etc., leur étude appartient à la lithologie plutôt qu'à la minéralogie.

On observe des cas fréquents de pseudomorphoses, où la C. tout en conservant ses formes a été transformée en Quartz, en Calamine, en Barytine en Pyrite, etc.

DOLOMIE. — Ce minéral présente la tétartoédrie rhomboédrique du système hexagonal; $a : c = 1 : 0,8322$; ses formes sont peu variées, celles qui dominent sont : le rhomboèdre primitif $r = \varkappa\pi\{10\bar{1}1\}$ dont l'angle des arêtes polaires est de 73°45′, $m = \varkappa\pi\{40\bar{4}1\}$, $c = \varkappa\pi\{0001\}$ et surtout $g = \varkappa\pi\{01\bar{1}2\}$ (fig. 540 et 516); on observe aussi le deutéroprisme $d = \varkappa\pi\{11\bar{2}0\}$ et des rhomboèdres de troisième position, par exemple $\varkappa\pi\{21\bar{3}1\}$ et $\varkappa\pi\{32\bar{5}1\}$, qui ne présentent que la moitié des faces des scalé-

noèdres correspondants (fig. 541, les faces ρ ne sont qu'au nombre de six seulement; voir page 78). Les figures de corrosion sur les faces de r sont conformes à la tétartoédrie rhomboédrique; contrairement à celles de la Calcite (fig. 389), elles ne sont pas symétriques par rapport à la petite diagonale des faces rhomboédriques. Un cristal d'aspect hémiédrique n'est souvent que la réunion de deux individus tétartoédriques assemblés en macle complémentaire. Les rhomboèdres sont souvent recourbés en forme de selle

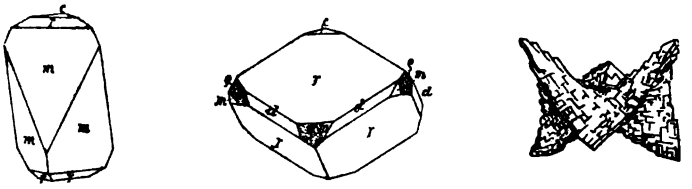


Fig. 540. Fig. 541. Fig. 542.

(fig. 542). Les cristaux de D. ont ordinairement pour plan de macle les faces $c = \varkappa\pi\{0001\}$, $r = \varkappa\pi\{10\bar{1}1\}$ ou $f = \varkappa\pi\{02\bar{2}1\}$; cette dernière macle est souvent répétée et donne naissance à des lamelles maclées.

Clivage parfait suivant r; D. = 3 1/2 à 4; P. S. = 2.9. Les couleurs sont les mêmes que pour la Calcite; la D. présente souvent des reflets nacrés. Biréfringence —; $n_\omega = 1{,}68174$. $n_\varepsilon = 1{,}50256$ (rayons jaunes),

C. ch. : $(CaMg)CO_3$; le rapport des deux carbonates est variable. La D. est infusible; l'acide acétique et l'acide chlorhydrique ne l'attaquent pas à froid, et ce dernier ne produit, à chaud, qu'une effervescence peu vive.

La D. est moins répandue que la Calcite; on la rencontre en cristaux dans des filons métallifères (Hartz, Freiberg. Traversella), dans les anfractuosités des roches dolomitiques (Binnenthal), etc. Très souvent elle se présente en masses compactes, saccharoïdes et granuleuses qui forment roche, et comme telle elle est très répandue dans divers terrains (Salzbourg, Binnenthal, Campolungo, etc.). La D. renferme quelquefois des substances bitumineuses ou fétides; elle présente alors une couleur noirâtre (Hall en Tyrol). Très souvent elle est ferrifère et brunit sous l'influence des agents atmosphériques, on la désigne alors quelquefois sous le nom de *Spath brunissant;* quand la teneur en fer est très forte on lui donne le nom d'**Ankérite**.

MAGNÉSITE. — Isomorphe avec la Calcite; $a : c = 1 : 0{,}8104$. Cristaux rares, présentant les formes $\varkappa\{10\bar{1}1\}$, $\varkappa\{10\bar{1}0\}$, $\varkappa\{11\bar{2}0\}$, $\varkappa\{0001\}$. L'angle polaire du rhomboèdre fondamental est de 72°33′.

La M. est incolore, blanche, jaunâtre, brune, grisâtre ou noirâtre. Biréfringence — énergique, $n_\omega = 1{,}72$; $n_\varepsilon = 1{,}51$ Clivage parfait suivant le rhomboèdre fondamental. D. = 4 à 4 1/2; P. S = 3.

C. ch. : $MgCO_3$ (47,6 °/₀ MgO; 52,4 °/₀ CO_2); contient presque toujours du carbonate de fer; donne une masse rose quand on la chauffe avec le nitrate de cobalt. Se dissout à chaud dans l'acide chlorhydrique.

On trouve la M. en rhomboèdres dans la Serpentine de Snarum en Norwège, dans les Talcschistes des Alpes (Pfitsch, Zillerthal), dans le Gypse à Hall en Tyrol, etc.; mais généralement on observe ce minéral sous la forme lamellaire, compacte ou terreuse dont la cassure ressemble à de la porcelaine dégourdie (Frankenstein en Silésie, Baldissero en Piémont, Archipel grec et Asie mineure). Dans beaucoup de cas la M. a été formée par la décomposition de la Serpentine.

La M. sert à la fabrication de la porcelaine, de briques et de creusets réfractaires, à la préparation de l'acide carbonique, etc.

Les M. qui contiennent du fer en quantité variable sont désignées sous le nom de **Breunnérite**.

SMITHSONITE. — Isomorphe avec la Calcite; $a : c = 1 : 0.8062$. Se présente généralement en incrustations, rarement en petits cristaux rhomboédriques qui offrent les formes $\varkappa\{10\bar{1}1\}$, $\varkappa\{40\bar{4}1\}$, $\varkappa\{10\bar{1}0\}$, $\varkappa\{11\bar{2}0\}$, $\varkappa\{21\bar{3}1\}$. L'angle du rhomboèdre fondamental est de 72°20'. Les faces du rhomboèdre *r* sont souvent courbées.

Ce minéral est incolore, jaune, vert, brun, gris pâle; translucide ou opaque; double réfraction énergique négative. Clivage parfait suivant le rhomboèdre fondamental. D. = 5. P. S. = 4.1 à 4,5.

C. ch. : $ZnCO_3$ (64,8 °/₀ ZnO; 35,2 °/₀ CO_2). Chauffée sur le charbon la S. donne une aréole jaune à chaud, blanche à froid; et une masse verte quand on la chauffe avec le nitrate de cobalt. Elle est soluble avec effervescence dans l'acide chlorhydrique, et soluble dans la potasse caustique.

La S. est le minerai de zinc le plus important; on la trouve en amas dans des Dolomies et des Calcaires de toutes les formations, associée au Silicate de zinc, à la Galène, à la Blende, à la Limonite (Vieille Montagne, Brilon en Westphalie, Pologne, Laurium, Sardaigne, nord de l'Espagne, Angleterre, États-Unis, etc.). La S. a été très souvent produite par l'action d'eaux chargées d'acide carbonique sur du sulfure de zinc.

La S. contient quelquefois une quantité de fer assez forte, elle est appelée alors **Monheimite**.

DIALOGITE. — (Du grec διαλογή = doute). — Isomorphe avec la Calcite; $a : c = 1 : 0,8183$. La D. est rarement cristallisée, ses cristaux offrent les formes $r = \varkappa\{10\bar{1}1\}$ et quelquefois $c = \varkappa\{0001\}$. L'angle du rhomboèdre fondamental est de 73°. Les faces sont souvent courbées et striées ce qui donne aux cristaux une forme lenticulaire; on rencontre aussi des masses botryoïdales ou globulaires.

Clivage parfait suivant $\varkappa\{10\bar{1}1\}$. D. = 3 ½ à 4 ½; P. S. = 4,4 à 4,6. Couleur rose ou rouge frambroise, brunissant à l'air; éclat vitreux, quelquefois nacré. Biréfringence — énergique.

C. ch. : $MnCO_3$ presque toujours mélangée de carbonates isomorphes de fer, calcium et magnésium, de sorte que sa formule est généralement $(Mn,Ca,Fe,Mg)CO_3$. Décrépite et devient gris-verdâtre ou noire par l'action de la chaleur. Donne avec les fondants la perle caractéristique du manganèse. Réduite en poudre ou en petits fragments elle est soluble à froid dans l'acide chlorhydrique.

La D. se rencontre généralement dans des filons avec des minerais d'argent, de plomb, de cuivre et avec d'autres minerais de manganèse. On la trouve à Kapnik (Hongrie), Nagyag (Transylvanie), Horhausen (Nassau), Vieille (Pyrénées), Freiberg (Saxe), New-Jersey, Colorado, Nevada (États-Unis).

SIDÉRITE. — (Du grec σίδηρος = fer). — Isomorphe avec la Calcite; $a : c = 1 : 0,8171$. Les cristaux de ce minéral offrent le plus souvent le rhomboèdre fondamental $\varkappa\{10\bar{1}1\}$, fréquemment courbé en selle (fig. 549) et dont l'angle des arêtes polaires est de 72°55'. Quelquefois on observe encore les formes $\varkappa\{02\bar{2}1\}$, $\varkappa\{40\bar{4}1\}$, $\varkappa\{01\bar{1}2\}$, $\varkappa\{10\bar{1}0\}$, $\varkappa\{11\bar{2}0\}$, $\varkappa\{0001\}$ et surtout $\varkappa\{21\bar{3}1\}$.

Clivage parfait suivant $\varkappa\{10\bar{1}1\}$; les faces de clivage sont souvent courbes; D. = 3 ½ à 4 ½; P. S. = 3,8. Couleur jaune, gris-jaunâtre ou brun-jaunâtre; éclat vitreux. La S. est transparente ou opaque, biréfringence — énergique; elle agit faiblement sur l'aiguille aimantée.

C. Ch. : $FeCO_3$ (62,1 °/₀ FeO; 37,9 °/₀ CO_2). Décrépite et devient magnétique sous l'action de la chaleur; donne la perle du fer avec les fondants; lorsqu'elle est réduite en poudre elle est facilement soluble dans les acides à chaud, et fait effervescence lente à froid. Par l'exposition à l'air la S. brunit et se transforme en Limonite; en perdant de l'eau cette dernière passe à l'état d'Hématite rouge et de Magnétite. Dans ce dernier cas ce sont souvent des substances organiques qui réduisent l'oxyde de fer.

Fig. 543.

On rencontre aussi le carbonate de fer en masses botryoïdales ou stalactitiques à structure compacte ou finement fibreuse, auxquelles on a donné le nom de *Sphérosidérite* (Basalte de Steinheim près de Hanau, de Bilin en Bohême, etc.). Le *Fer carbonaté lithoïde* est une variété argileuse très impure qui forme des concrétions réniformes aplaties (Lebach près de Sarrebrück). La variété dite *Black-band* qu'on rencontre dans les terrains houillers

(Angleterre, Westphalie, etc.) se présente en couches continues colorées en noir par des substances charbonneuses.

La S. est un minerai de fer important; on la trouve en cristaux dans les filons avec Quartz, Blende, Chalcopyrite, Tétraédrite, etc. (Cornouailles, Hartz, Przibram en Bohême, Traversella en Piémont); en masses considérables à structure grenue, formant des amas, des gîtes et des veines dans les Schistes cristallins et les roches schisteuses des terrains primaires (Stahlberg près de Müsen, Horhausen dans le Duché de Nassau, Eisenerz en Styrie, Hüttenberg en Carinthie); en masses plus ou moins argileuses ou charbonneuses à structure finement grenue ou compacte, formant des amas, des bancs interstratifiés et des lentilles réunies en couches (*Kohleneisenstein*, *Thoneisenstein*, *Blackband*) dans les terrains jurassique, crétacé et surtout dans le carbonifère (Westphalie, Angleterre, Silésie, Banat, etc.).

L'**Oligonite** est une Sidérite très riche en manganèse; la **Sphaerocobaltite** $CoCO_3$ est également isomorphe avec la Calcite (Schneeberg, Saxe).

Série Rhombique.

ARAGONITE. — Rhombique, $a : b : c = 0{,}6228 : 1 : 0{,}7204$. Les cristaux sont ordinairement allongés suivant l'axe vertical. Les formes les plus communes sont : $b = \{010\}$, $m = \{110\}$, $p = \{111\}$, $k = \{011\}$, $s = \{121\}$,

Fig. 544.

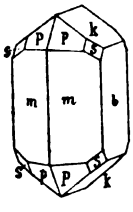


Fig. 545.

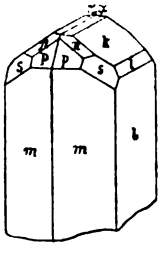


Fig. 546.

Fig. 547.

$i = \{021\}$, $x = \{012\}$, $n = \{122\}$, (fig. 544, 545 et 546); très souvent on observe des faisceaux de cristaux bacillaires à pyramides très aiguës dont les arêtes latérales sont tronquées par des prismes de profil (fig. 547). Les faces de b et des prismes de profil sont ordinairement striées parallèlement à leur arête de combinaison (fig. 547). La figure 548 représente une projection stéréographique sur la base $c = (001)$ des formes ordinaires notées ci-dessus et des principales zones de ce minéral. Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 63°50'$, $(011) : (0\bar{1}1) = 71°34'$, $(111) : (1\bar{1}1) = 50°28'$; $(021) : (0\bar{2}1) = 110°30'$. Les cristaux sont presque toujours maclés suivant $\{110\}$, (fig. 549). La figure 550 donne une projection orthogonale de cette macle sur la face $c = (001)$, et indique en même temps la position des axes optiques pour chacun des

individus maclés. Comme l'angle (110) : ($1\bar{1}0$) est très voisin de 60°, la macle en cycle de trois individus (fig. 531) tend à se fermer complètement; le vide est souvent rempli par la matière de l'un des trois prismes et l'ensemble des trois cristaux simule alors un prisme hexagonal basé. Cette

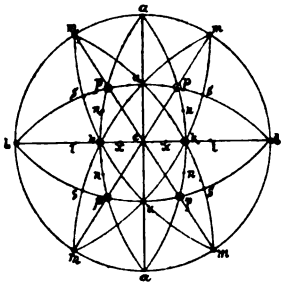


Fig. 548.

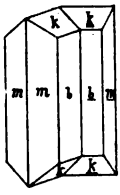


Fig. 549.

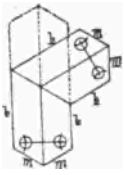


Fig. 550.

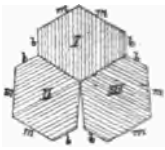


Fig. 551.

macle est souvent répétée et donne naissance à de nombreuses lamelles maclées (voir page 155).

Cassure écailleuse; clivage imparfait suivant *b*, *m* et *k*. D. = 3 ½ à 4; P.S. = 2,93. L'A. est incolore ou blanche, souvent colorée en rose, jaune, vert, violet, etc.; son éclat est vitreux. Double réfringence — énergique. P. A. ∥ (100); B_a ⊥ (001) (fig. 552). Pour les rayons jaunes (lumière colorée par le sodium) $n_\alpha = 1,53013$; $n_\beta = 1,68157$; $n_\gamma = 1,68589$. $2V_a = 17°50'$; $2E_a = 30°14'$; $\rho > \upsilon$ (faiblement).

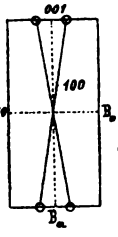


Fig 552.

C. ch. : $CaCO_3$. Sous l'influence de la chaleur L'A. se gonfle, décrépite et se désagrège en une poudre de petits cristaux rhomboédriques de Calcite. Les acides dilués ne l'attaquent pas aussi facilement que la Calcite, et elle fait avec eux une effervescence moins vive. Par fusion sous pression l'A. se transforme en Marbre calcaire cristallin.

L'A. n'est pas aussi répandue que la Calcite, mais on la trouve assez fréquemment dans les fissures des gites métallifères, surtout des gites de Sidérite, dans les géodes des roches volcaniques et des roches sédimentaires, dans les amas de Soufre, etc. Framont (Alsace), Cumberland, Léogang (Salzbourg), Hüttenberg (Carinthie), Auvergne, Kaiserstuhl (Bade), Girgenti (Sicile), etc. De beaux cristaux viennent de Bilin et d'Horschenz (Bohême) et des Marnes salifères de Molina (Aragon). L'A. se présente aussi comme dépôt de sources thermales (*Pisolithes* de Carlsbad) et forme très souvent la partie nacrée de certaines coquilles de mollusques. Elle est quelquefois coralloïde et blanche, à structure fibreuse, comme à Eisenerz en Styrie; on désignait autrefois cette variété sous le nom de *Flos ferri*.

La **Tarnowitzite** de Tarnowitz (Silésie) est un mélange isomorphe de carbonate de calcium et de carbonate de plomb.

WITHÉRITE. — Isomorphe avec l'Aragonite; $a : b : c = 0,5949 : 1 : 0.7413$. Les cristaux se rapprochent de la symétrie hexagonale, par suite de macles répétées, et simulent une pyramide hexagonale ou un prisme hexagonal combiné à la pyramide (fig. 553); ils sont toujours composés de plusieurs individus, ordinairement au nombre de trois, et de lamelles maclées, comme l'indique la figure 554. Les façes sont souvent striées horizontalement. On rencontre aussi la W. en masses compactes mamelonnées.

Cassure inégale; clivage imparfait suivant $m = \{110\}$; D. = 3 à 3 ½;

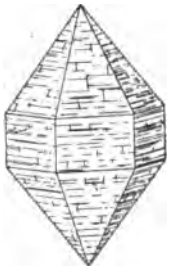


Fig. 553.

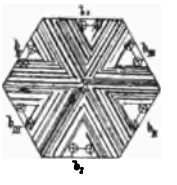


Fig. 554.

P. S. = 4,2. La W. est incolore, grisâtre ou jaunâtre; éclat vitreux, quelquefois légèrement résineux. Optiquement —; P. A. ∥ (010); $B_a \perp$ (001). Pour les rayons rouges $2E_a = 26°30'$.

C. ch. : $BaCO_3$. Colore la flamme en vert-jaunâtre livide; fait effervescence avec les acides. Fusible en émail blanc.

On trouve la W. dans les gîtes de Galène de Tarnowitz (Silésie), de Peggau (Styrie), et dans ceux que renferme le Calcaire carbonifère du nord-ouest de l'Angleterre : Northumberland, Westmoreland, Cumberland.

La W. se transforme en Barytine par l'action du sulfate de calcium en solution dans l'eau à la température ordinaire, ou par l'action d'autres sulfates en solution, ou d'eaux qui contiennent de l'acide sulfurique. Elle sert à la fabrication de certains verres, à la préparation des sels de baryum, du bioxyde de baryum, etc.

L'**Alstonite**, $(Ca, Ba)CO_3$, est constituée par un mélange isomorphe d'Aragonite et de Withérite. Alston-Moor (Cumberland).

STRONTIANITE. — Isomorphe avec l'Aragonite; $a : b : c = 0,6089 : 1 : 0,7237$. Ce minéral se présente en cristaux prismatiques ou aciculaires, réunis en faisceaux. On observe les formes $m = \{110\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $i = \{021\}$, $k = \{011\}$, $p = \{111\}$, $o = \{112\}$, (fig. 555), et des pyramides $\{hhl\}$ tres aiguës. La S. offre les mêmes macles que l'Aragonite. Angles : $m : m' = 62°41'$; $(011) : (0\bar{1}1) = 71°48'$.

Clivage presque parfait suivant $\{110\} = m$; traces de clivage suivant $\{010\}$. D. = 3 ½; P. S. = 3,6. La S. est incolore, blanche, jaunâtre ou

verdâtre; transparente ou translucide; éclat vitreux. Optiquement —; P. A. ‖ (010); $B_a \perp (001)$; $n_\alpha = 1,515$, $n_\beta = 1,664$; $n_\gamma = 1,666$ (rayons jaunes). $2V_a = 6°22'$.

C. ch. : $SrCO_3$. Au Ch. se gonfle, brille d'un éclat très vif, colore la flamme en rouge carmin et laisse une masse boursoufflée qui fond difficilement. Fait effervescence avec les acides; la solution donne par l'acide sulfurique un précipité blanc de sulfate de strontium.

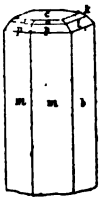


Fig. 555.

La S. se rencontre en filons dans la Marne sénonienne du bassin de Münster en Westphalie (Altahlen près de Hamm); en beaux cristaux sur Barytine dans certains filons métallifères (Strontian en Ecosse, Leogang en Salzbourg, Hartz, Erzgebirge), et en concrétions réniformes dans le Diluvium de la Transylvanie.

La S. sert à la préparation des sels de strontium, on l'emploie dans les fabriques de sucre pour extraire le sucre de la mélasse; elle est utilisée pour les feux d'artifice, pour la fabrication de certains verres spéciaux, etc.

La **Calciostrontianite** de Brixlegg (Tyrol) est un mélange isomorphe de Strontianite et d'Aragonite.

CÉRUSSITE. — Isomorphe avec l'Aragonite; $a : b : c = 0,6101 : 1 : 0,7229$. La C. se présente en cristaux prismatiques, tabulaires ou pyramidés; Les cristaux tabulaires ont les faces $b = \{010\}$ très développées. Les cristaux prismatiques sont allongés suivant l'axe vertical ou suivant l'axe de profil. Les formes dominantes sont $b = \{010\}$, $m = \{110\}$, $t = \{111\}$, $s = \{012\}$,

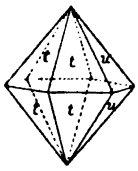


Fig. 556.

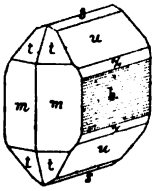


Fig. 557.

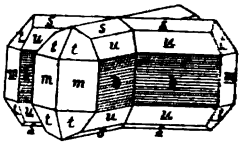


Fig. 558.

$k = \{011\}$, $u = \{021\}$, $z = \{041\}$. Les faces de $b = \{010\}$ sont souvent striées parallèlement à leur arête de combinaison avec les faces de prisme de profil (fig. 557). Les macles par pénétration suivant $m = \{110\}$ sont très fréquentes (fig. 558). On observe très souvent des macles de trois individus formant une étoile à six rayons (fig. 559), ou un entrecroisement de trois rangées de cristaux formant une sorte de réseau à mailles de 60° environ; voir la fig. 560 qui représente une projection orthogonale sur la base. L'angle des faces (110) : ($1\bar{1}0$) est de 62°46′ de sorte que les cristaux se rapprochent encore de la symétrie hexagonale.

Cassure écailleuse; clivage imparfait suivant {110}; D. = 3 à 3 ½;

P. S. = 6,5. La C. est incolore, blanche ou colorée. Eclat adamantin ou gras. Optiquement —; P. A. ∥ (010); $B_a \perp$ (001); $\rho > \upsilon$; forte dispersion. Pour les rayons jaunes (lumière colorée par le sodium) $n_\alpha = 1,80368$; $n_\beta = 2,07628$; $n_\gamma = 2,09344$. $2V_a = 8°14'$.

C. ch. : $PbCO_3$ (83,5 °/₀ PbO; 16,5 °/₀ CO_2). Sur le charbon la C. décré-

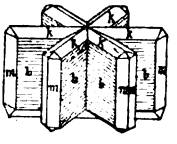


Fig. 559.

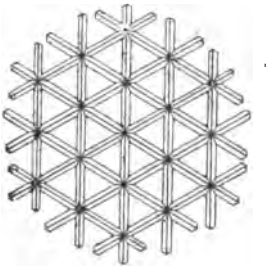


Fig. 560.

pite violemment, fond avec facilité, se colore en jaune et se réduit en un bouton de plomb. Elle se dissout avec effervescence dans l'acide nitrique étendu ; soluble dans la potasse caustique.

La C. est un minerai de plomb important; c'est un produit de décomposition de la Galène et d'autres minerais du même métal. On la trouve en têtes de gîtes et de filons plombifères; Hartz, Ems (Nassau), Johanngeorgenstadt, Przibram (Bohême), Lead Hills (Ecosse), Beresowsk (Oural), États-Unis, etc.

L'**Iglésiasite** d'Iglésias en Sardaigne est un mélange isomorphe de carbonate de plomb et d'un peu de carbonate de zinc. La **Manganocalcite** de Schemnitz est un mélange des carbonates de manganèse, de magnésium et de fer.

Le tableau synoptique suivant donne la série des carbonates que nous venons de décrire :

	Série hexagonale rhomboédrique.	*Série rhombique.*
$CaCO_3$	Calcite.	Aragonite.
$MgCO_3$	Magnésite.	dans la Manganocalcite.
$ZnCO_3$	Smithsonite	» l'Iglésiasite.
$MnCO_3$	Dialogite	» la Manganocalcite.
$FeCO_3$	Sidérite	» »
$CoCO_3$	Sphérocobaltite	. . . . .
$BaCO_3$	dans l'Alstonite	Withérite.
$SrCO_3$	» la Strontianocalcite	Strontianite.
$PbCO_3$	» » Tarnowitzite	Cérussite.

Les deux carbonates $CaCO_3$, $BaCO_3$ qui constituent dans l'Alstonite un mélange à proportions variables, cristallisant dans le système rhombique, s'unissent aussi en quantités déterminées pour former un minéral du système monoclinique, la **Barytocalcite** dont la formule chimique est $BaCO_3.CaCO_3$.

2. — Deuxième Division.

Cette division comprend les carbonates basiques. La plupart de ces minéraux perdent de l'eau quand on les chauffe.

MALACHITE. — (Du grec μάλαχη = mauve). — Monoclinique; les formes ordinaires sont $m = \{110\}$, $c = \{001\}$, $a = \{100\}$, $b = \{010\}$. Angles : (100) : (001) = 118°10'; (110) : ($1\bar{1}0$) = 75°40'. Les macles sont très fréquentes; plan de macle (100) (fig. 561). La M. se présente ordinairement en masses fibreuses ou compactes à surface mamelonnée; quelquefois

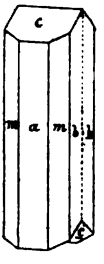


Fig. 561.

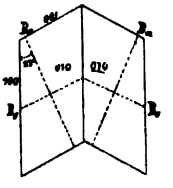


Fig. 562.

en formes stalactitiques, en feuillets ou en masses terreuses. Plus les fibres sont fines moins la couleur est foncée.

Cassure inégale ou écailleuse; clivages parfaits suivant (001) et (010); D. = 3 1/2 à 4; P.S. = 3,7 à 4,1. La M. possède une couleur vert-émeraude, ou vert-de gris, et un éclat adamantin, vitreux ou soyeux; elle est opaque ou translucide. Optiquement —; P. A. ‖ b = (010); $\rho < \upsilon$, $n_\beta = 1,88$, 2V = 44° (rayons rouges); la figure 562 donne une coupe parallèle à (010) d'une macle suivant (100) avec la disposition des bissectrices optiques.

C. ch. : $(Cu.OH)_2CO_3$ ou $CuCO_3.Cu(OH)_2$, (72 % CuO). Au Ch. la M. décrépite et noircit; elle colore la flamme en vert, dégage de l'eau dans le matras, fond sur le charbon et s'y réduit en un bouton de cuivre. Elle est soluble avec effervescence dans les acides et se dissout dans l'ammoniaque.

La M. est souvent un produit de décomposition d'autres minerais de cuivre; on la trouve fréquemment en pseudomorphoses sur Cuprite, Azurite, Chalcosine, Atacamite, Tétraédrite, etc. C'est un minerai de cuivre fréquent mais qui se présente rarement en grandes masses, comme dans l'Oural où l'on en a trouvé un bloc pesant 1500 kilogrammes. On la trouve associée à la Limonite, dans le *chapeau de fer* des filons cuprifères; Nischne-Tagilsk (Oural), Betzdorf près de Siegen, Dillenburg (Nassau), Chessy près de Lyon, Cornouailles, Amérique, Australie, etc.

Les belles masses mamelonnées de M. qui présentent des dimensions suffisantes, sont taillées en objets d'ornement, tablettes de cheminées, etc.; les autres variétés constituent un précieux minerai de cuivre.

AZURITE. — Monoclinique; se présente fréquemment en cristaux courts ou tabulaires, quelquefois en cristaux allongés. Les faces les plus communes sont : $m = \{110\}$, $k = \{111\}$, $v = \{11\bar{2}\}$, $a = \{100\}$, $c = \{001\}$, $r = \{10\bar{2}\}$ (fig. 563). Angles : $(100):(001) = 87°36'$; $(110):(1\bar{1}0) = 80°40'$; $(110):(111) = 19°58'$; $(111):(1\bar{1}1) = 73°57'$; $(011):(01\bar{1}) = 120°48'$.

Clivage parfait suivant $\{011\}$; D. = 3 ½ à 4; P. S. = 3,7. L'A. est d'un bleu d'azur, opaque ou translucide, à éclat vitreux; optiquement +; P. A. ⊥ (010); B_a fait avec l'axe c un angle de 12°36'; $\rho > \upsilon$; forte dispersion horizontale.

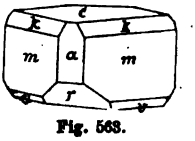


Fig. 563.

C. Ch. : $Cu(Cu.OH)_2(CO_3)_2$; ou $2CuCO_3.Cu(OH)_2$; (69,2 % CuO). L'A. présente les mêmes réactions que la Malachite; elle se transforme souvent en ce dernier minéral $2Cu(Cu.OH)_2(CO_3)_2 + H_2O = 3(Cu.OH)_2CO_3 + CO_2$.

Les gisements de l'A. sont les mêmes que ceux de la Malachite. On la trouve en beaux cristaux à Chessy près de Lyon, Moldowa (Banat), Nischne-Tagilsk (Oural), en Cornouailles, à Burra-Burra (Australie).

L'**Hydrocérussite** $2PbCO_3.Pb(OH)_2$ de Långban (Suède), se présente en paillettes hexagonales; l'**Hydrozincite** $ZnCO_3.2Zn(OH)_2$ se trouve en concrétions réniformes à structure massive ou terreuse dans des gîtes zincifères à Bleiberg (Carinthie), Santander (Espagne), etc. L'**Aurichalcite** de Picos de Europa (Espagne) est un carbonate basique de cuivre et de zinc.

3. — Troisième Division.

Cette division comprend les carbonates hydratés, c'est-à-dire ceux qui contiennent une ou plusieurs molécules d'eau.

Natron. — Monoclinique; les cristaux artificiels présentent les formes : $\{110\}$, $\{010\}$. $\{111\}$; l'angle β est de 122°20'. Dans la nature on n'observe ce minéral que sous forme d'incrustations cristallines ou d'enduits pulvérulents. Clivage suivant (100); D. = 1 à 1 ½; P.S. = 1 ⅛. Le N. est incolore ou grisâtre, transparent ou translucide; Optiquement — B_a ⊥ (010). C. ch. : $Na_2CO_3.10H_2O$. Soluble et facilement fusible; se décompose à l'air et fait effervescence avec les acides. On trouve le N. dans les dépôts des lacs *Natron* en Égypte et près de Mérida au Vénézuéla, ainsi qu'en efflorescences à la surface du sol (Debreczin en Hongrie, oasis de Fezzan dans la Tripolitaine).

Thermonatrite. — Rhombique, quelquefois en cristaux tabulaires, mais se présentant ordinairement sous forme d'enduits pulvérulents. C. ch. : $Na_2CO_3.H_2O$; elle est soluble mais infusible et accompagne le Natron dans ses gisements. —

Urao. — monoclinique; cristaux allongés suivant l'axe *b*, et présentant les formes {100}, {001}, {111}; clivage suivant (100); D. = 2 ½; P.S. = 2,2. C. ch.: Na_2CO_3. $NaHCO_3.2H_2O$. L'U. est fusible et soluble, mais il ne s'effleurit pas à l'air. On le trouve avec le Natron; il abonde surtout à Fezzan où il est utilisé comme pierre de construction.

Notons encore parmi les minéraux qui appartiennent à cette division : la **Gaylussite** $NaCO_3.CaCO_3.5H_2O$ (près de Ragtown dans le Nevada, Lagunillas près de Mérida au Vénézuéla); la **Lanthanite** $La_2(CO_3)_3.9H_2O$ (mine de Bastnäs près de Ryddarhyttan en Suède); l'**Hydromagnésite** $3MgCO_3 . Mg(OH)_2 . 3H_2O$ (dans la serpentine à Kraubat en Styrie, Hoboken dans le New Jersey, etc.) et la **Zaratite** $NiCO_3.2Ni(OH)_2.4H_2O$ qu'on trouve dans le Fer chromé de Texas en Pensylvanie.

Nous plaçons à la fin du groupe des carbonates les combinaisons des carbonates et des sels haloïdes :

Phosgénite. — Tétragonale; beaux cristaux prismatiques présentant les formes : {100}, {010}, {001}, {111} ou des pyramides très aiguës : {881} par exemple. Clivage facile suivant {110}. D. = 2 ½; P.S. = 6 à 6,3. La P. est blanc-jaunâtre ou blanc-verdâtre, transparente, optiquement +; $n_\omega = 2,114$; $n_\varepsilon = 2,14$, à éclat adamantin. C. ch.: $PbCO_3.PbCl_2$. Très fusible; soluble dans l'acide nitrique. C'est un produit de décomposition de la Galène. Monte Poni (Sardaigne), Cromford (Derbyshire), etc.

La **Bastnäsite** $(CeLaDi)FlCO_3$ de Ryddarhyttan (Suède) et la **Parisite** $Ce_2CaFl_2(CO_3)_3$ de Kischtimsk (Oural) sont hexagonales.

Groupes C et D. — Sélénites, Manganites et Plombates.

Chalcoménite. — $CuSeO_3 . 2H_2O$, monoclinique; elle se trouve en petits cristaux bleu-verdâtre à Cerro de Cacheuta (République Argentine).

Braunite. — Tétragonale, se présente en petits cristaux formant des incrustations et en agrégats grenus; formes : {111}, {001}; (111) : $(1\bar{1}1) = 71°21'$; macles suivant {101}. Clivage distinct suivant {111}. D. = 6 à 6 ½; P.S. = 4,7 à 4,9. La B. est noir de fer brunâtre, à éclat gras. C. ch. : $MnMnO_3$. Infusible; donne du chlore avec l'acide chlorhydrique. On la trouve dans les gîtes manganésifères de Ilfeld (Hartz), Elgersburg (Thuringe), Botnedal (Norvège).

Hausmannite. — Tétragonale; on la trouve à l'état massif ou grenu et en cristaux pyramidaux réunis en druses; formes principales : {111}, {101}; (111) : $(1\bar{1}1) = 63°$. Macles par accolement suivant {101}, et macles de cinq individus ressemblant à celle de la Chalcopyrite (fig. 460). Clivage distinct suivant (001); D. = 5 ½; P.S. = 4,7. La H. présente un éclat métallique passant à l'éclat gras; elle est noir de fer à poussière terne.

C. ch. : Mn_3MnO_4; infusible; attaquable par l'acide chlorhydrique avec dégagement de chlore; colore l'acide sulfurique concentré en rouge vif.

On trouve la H. dans des filons (près d'Elgersburg en Thuringe et d'Ilfeld dans le Hartz); en masses considérables dans des Dolomies (Paysberg et Langban en Suède).

Minium. — Pb_2PbO_4; rouge-aurore; P. S. = 4,6. On le trouve en enduits pulvérulents sur la Galène et la Cérussite à Badenweiler (Bade), à Leadhills Ecosse), etc.

PSILOMÉLANE. — (Du grec ψιλός = glabre, et μέλας = noir.) — Se présente en masses concrétionnées, stalactitiques ou réniformes, à structure fibreuse ou compacte. D. = 5 à 6; P. S. = 4,13 à 4,3; sa couleur est le noir de fer ou le noir bleuâtre.

C. ch. variable. La P. est essentiellement une combinaison de MnO, MnO_2, H_2O; mais MnO peut être remplacé en partie par BaO ou K_2O et par des traces d'autres substances. Infusible; facilement soluble dans l'acide chlorhydrique avec dégagement de chlore.

La P. est très répandue, on la trouve avec Quartz, Fluorine, Barytine dans les fissures et les veines des roches éruptives; elle remplit des poches dans certaines Limonites, et se présente aussi associée à de la Pyrolusite. Romanèche (Saone-et-Loire); Ilfeld au Hartz; Elgersburg et Ilmenau en Thuringe; Erzgebirge; Siegen, etc.

Wad. — Amorphe. — On le trouve en masses réniformes ou stalactitiques, en nodules et en dendrites. Noir ou noir-brunâtre; ordinairement poreux ou terreux, tachant les doigts. P.S. = 3 à 4,25. C. ch. : peu différente de celle de la Psilomélane. C'est un produit de décomposition des carbonates manganésifères, de la Psilomélane, etc. Iberg (Hartz), Siegen, Nassau, Groroi (Mayenne), Devonshire.

Asbolane. — Amorphe. — Se présente en masses réniformes ou stalactitiques, en enduits et en imprégnations. Noir-bleuâtre, terne, opaque. D = 1 à 1 ½; P. S. = 2,1 à 2,2. C. ch. Oxyde hydraté de Mn, Co, Cu. (19 à 20 °/₀ CoO). L'A. est un produit de décomposition de minerais cobaltifères (Westerwald, Nouvelle Calédonie, etc.).

VIe CLASSE. — SULFATES, CHROMATES, MOLYBDATES, WOLFRAMATES, URANATES.

Groupe A. — Sulfates, etc. anhydres.

Les sulfates des alcalis étant solubles dans l'eau, ne se rencontrent dans la nature qu'en petite quantité. Nous mentionnerons : le sulfate double de potassium et de sodium $(K, Na)_2SO_4$, substance dimorphe, qui cristallise en rhomboèdres (**Glasérite**), ou en tables du système rhombique (**Arcanite**). La **Mascagnine** $(NH_4)_2SO_4$ et la **Thénardite** Na_2SO_4 sont isomorphes avec l'Arcanite.

Glaubérite. — Monoclinique. — Formes : {110}, {001}, {111}. Cristaux tabulaires suivant {001}. Angles : (110) : $(1\bar{1}0)$ = 96°58′; (110) : (001) = 75°30′. Les faces de {111} sont striées parallèlement à leur arête avec {110}. Clivage parfait suivant (001). D. = 2 ½ à 3; P.S. = 2,7. Incolore, grisâtre ou jaunâtre; transparente; douée d'une saveur salée et amère. C. ch. : $Na_2SO_4 . CaSO_4$. Soluble dans l'eau avec dépôt de sulfate de calcium. La G. se recouvre à l'air d'une croûte pulvérulente de sulfate de sodium. On la trouve dans certaines mines de Sel-gemme (Villarubia en Espagne, Westeregeln près de Stassfurt, Berchtesgaden, etc.).

ANHYDRITE. — (Du grec ἄνυδρος = sans eau.) — Rhombique; $a : b : c$ = 0,9987 : 1 : 0,8925. Les cristaux sont rares et présentent le

plus souvent les formes $c = \{001\}$, $b = \{010\}$, $a = \{100\}$, $f = \{311\}$, $s = \{110\}$, $r = \{011\}$, $n = \{530\}$, (fig. 564 et 565). Les faces de a et de n sont souvent striées verticalement (fig. 564). Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 89°56'$; $(011) : (0\bar{1}1) = 83°30'$; $(100) : (311) = 26°34'$. L'A. est caractérisée par son triple clivage à angle droit, presque également parfait dans les trois sens, et dirigé suivant les faces terminales (100), (010) et (001), donnant ainsi aux solides l'aspect cubique. Le clivage suivant $b = \{010\}$ est le plus parfait, puis vient celui suivant $a = \{100\}$ et enfin celui suivant $c = \{001\}$.

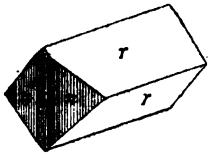


Fig. 564.

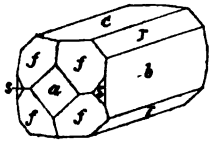


Fig. 565.

Le minéral présente, suivant la direction du clivage $b = \{010\}$ un éclat nacré. On remarque souvent de fines stries de macles paralèles à $r = \{011\}$ sur les lamelles du clivage dirigé suivant $a = \{100\}$. Enfin, le clivage parallèle à $c = \{001\}$, qui est le plus difficile à obtenir, présente un éclat gras. D. = 3 à 3 $^1/_2$; P. S. = 2.8 à 3. L'A. est incolore, blanche, bleuâtre ou bleue, quelquefois grise ou rouge. Optiquement +; P. A. ∥ (100); $n_\alpha = 1{,}571$; $n_\beta = 1{,}576$; $n_\gamma = 1{,}614$. $2V_a = 43°40'$. $B_a \perp (001)$.

C. ch. $CaSO_4$. Fond difficilement en un émail blanc, donne du sulfure de calcium par réduction sur le charbon; se dissout lentement dans les acides et se décompose quand on la chauffe avec les carbonnates de potassium et de sodium.

L'A. se présente en cristaux et en masses cristallines, compactes, grenues ou fibreuses. On la rencontre dans des roches de toutes les formations, surtout dans les Calcaires, avec le Gypse et dans les dépôts de Sel-gemme : dans le *Zechstein* à Stassfurt (Hartz), où elle forme un nombre considérable de minces feuillets alternant avec le sel Sel-gemme; dans les terrains triasiques, à Sulz, Ischl, Aussee, Berchtesgaden; dans le terrain tertiaire à Wieliczka (Bohême), etc. Certains cristaux de Sel-gemme laissent déposer, en se dissolvant, des cristaux d'A. On trouve aussi l'A. avec du Gypse, sans Sel-gemme, dans diverses localités.

L'A. absorbe de l'eau et se transforme en Gypse. Les variétés finement grenues et translucides sont utilisées comme pierres d'ornement.

BARYTINE. — (Du grec *βαρύς* = pesant.) — Rhombique, $a : b : c = 0{,}8152 : 1 : 1{,}3136$. Se présente en cristaux tabulaires ou prismatiques. Parmi les nombreuses faces observées sur ces cristaux citons les plus

(cf. objet, ensuite)

communes : $c = \{001\}$, $m = \{110\}$, $d = \{102\}$, $h = \{104\}$, $e = \{101\}$, $o = \{011\}$, $b = \{010\}$, $a = \{100\}$, $\{111\}$, $\{112\}$; (fig. 566 à 571). La forme tabulaire est due le plus souvent au développement des faces $c = \{001\}$ (fig. 570 et 571). Quant aux cristaux prismatiques, ils sont souvent allongés

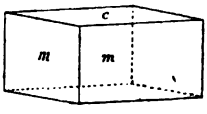


Fig. 566.

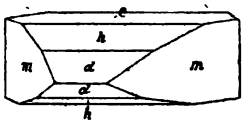


Fig. 567.

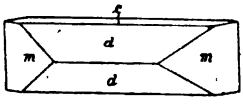


Fig. 568.

suivant l'axe de front (fig. 567 et 568), ou suivant l'axe de profil (fig. 569), quelquefois suivant l'axe vertical; il en résulte que l'aspect des cristaux peut subir de grandes variations.

Voici la valeur de divers angles : (110) : $(1\bar{1}0)$ = 78°22′; (001) : (102) = 38°51′; (001) : (011) = 52°43′; (001) : (111) = 64°19′.

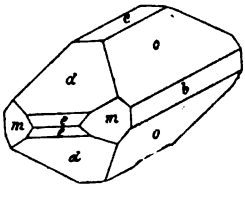


Fig. 569.

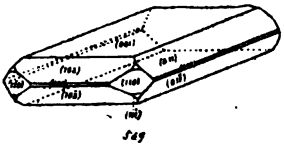


Fig. 570.

Clivage très parfait suivant c, parfait suivant m ; la figure 566 représente le solide de clivage. D. = 3 à 3 ½; P. S. = 4,3 à 4,7. La B. est incolore ou blanche, quelquefois colorée en gris, jaune, bleu, rouge ou vert; son éclat est vitreux. Optiquement +; P.A. ∥ (010); B. ⊥ (100); n_α = 1.6361; n_β =

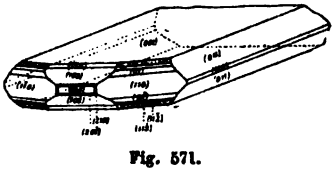


Fig. 571.

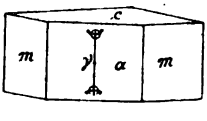


Fig. 572.

1,6371, n_γ = 1,6479; 2V. = 37° ½ (rayons jaunes). La figure 572 donne la position des axes optiques dans le cristal.

C. ch. : $BaSO_4$; (65,7 °/₀ BaO); elle contient souvent du strontium. Au Ch. la B. décrépite vivement, et fond très difficilement en colorant la flamme en vert jaunâtre livide; elle donne un *hépar* par fusion avec la soude sur le charbon; elle est insoluble dans l'eau et dans les acides et n'est pas décomposée par les alcalis.

La B. se rencontre encore en masses compactes grenues, d'un blanc de lait; on observe aussi une variété bacillaire ou fibreuse (*Stangenspath* ou

Faserbaryt de Freiberg), et une variété concrétionnée à structure rayonnée (*Pierre de Bologne*) qu'on trouve dans la Marne aux environs de Bologne.

La B. en beaux cristaux est un des minéraux filoniens les plus répandus : on la rencontre surtout avec les minerais argentifères à Freiberg (Saxe), Przibram (Bohême), Schemnitz (Hongrie); dans les filons cobaltifères, à Richelsdorf et Bieber (Hesse); avec la Galène à Clausthal (Hartz), en Cornouailles, dans le Derbyshire, etc. Elle est également très fréquente dans les gîtes de Pyrolusite et de Limonite (Ilmenau en Thuringe, Hartz). — On l'observe plus rarement sous forme de filons (dans le Gneiss à Aschaffenbourg) ou remplissant des cavités de roches éruptives. Quelquefois on la trouve en masses cristallines spathiques dans des roches sédimentaires (Brilon, Meggen en Westphalie), ou en masses compactes (Brixlegg en Tyrol).

On emploie la B. pour la préparation des sels de baryum; dans l'industrie des couleurs pour la fabrication du *Blanc fixe;* pour la falsification des substances blanches et pulvérulentes (farine, céruse, etc.).

La **Barytocélestine.** (Ba,Sr) SO_4 est une Barytine riche en strontium.

CÉLESTINE. — (Ainsi nommée à cause de la couleur bleue de certaines de ses variétés.) — Isomorphe avec la Barytine; $a : b : c = 0,7809 : 1 : 1,2832$. Les cristaux de ce minéral peuvent à peine se distinguer de ceux de la Barytine; ils sont généralement allongés suivant l'axe de profil a; les formes dominantes sont $c = \{001\}$, $o = \{011\}$, $m = \{110\}$, $d = \{102\}$

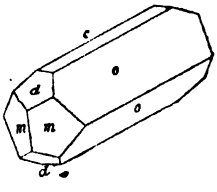


Fig. 573.

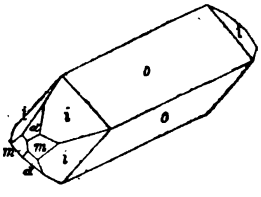


Fig. 574.

(fig. 573); on observe quelquefois des pyramides très aiguës suivant l'axe a; par exemple $i = \{133\}$ (fig. 574). Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 75°58'$; $(001) : (011) = 52°4'$; $(001) : (012) = 39°25'$. Clivages suivant c et m comme pour la Barytine. D. = 3 à 3 ½; P.S. = 4.

La C. est blanche, bleuâtre ou rougeâtre, à éclat vitreux ou nacré. Ses propriétés optiques sont analogues à celles de la Barytine, avec biréfringence un peu plus faible. Optiquement + P.A. ∥ (010); $B_a \perp (100)$; $n_\alpha = 1,6219$; $n_\beta = 1,6236$; $n_\gamma = 1,6309$; $2E_a = 88°38'$ (rayons jaunes).

C. Ch. : $SrSO_4$, (56,4 % SrO); au Ch. fond en une perle blanche et colore la flamme en rouge carmin. Difficilement attaquable par les acides, mais les carbonates alcalins la décomposent et la transforment en carbonate de strontium.

La C. se présente souvent en masses laminaires, spathiques ou grenues, en agrégats à structure bacillaire ou fibreuse et en nodules. On la trouve dans les terrains sédimentaires, surtout dans les Calcaires et les Marnes tertiaires; elle est ordinairement associée au Soufre, au Gypse, à la Calcite, à l'Aragonite, etc. Girgenti (Sicile), Pschow près de Ratibor (Silésie), Dornburg près de Iéna, Ville-sur-Saulx (France), etc. Elle se rencontre également en beaux cristaux dans les environs de Bristol, et dans l'île de Strontian (Lac Huron). Quelquefois on l'observe dans des filons métallifères (Herrengrund, Leogang).

La C. sert aux mêmes usages que la Strontianite.

ANGLÉSITE. — (De *Anglesea,* nom de l'île où on l'a découverte.) — Isomorphe avec la Barytine, $a : b : c = 0,7852 : 1 : 1,2894$. Formes ordinaires : $m = \{110\}$; $d = \{102\}$; $o = \{011\}$; $a = \{100\}$; $h = \{104\}$; $p = \{111\}$;

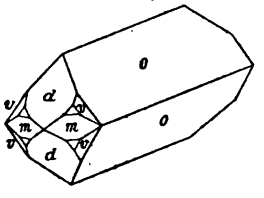


Fig. 575.

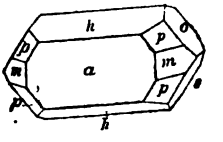


Fig. 576.

$v = \{122\}$; (fig. 575 et 576). Angles (110) : ($1\bar{1}0$) = 76°16′; (001) : (011) = 52°12′; (001) : (102) = 39°23′. Les cristaux sont souvent allongés soit suivant l'axe vertical soit suivant l'axe de profil (fig. 575), soit enfin suivant l'axe de front (fig. 576). L'A. est très fragile, sa cassure est conchoïdale; elle présente des clivages imparfaits suivant $c = \{001\}$ et $m = \{110\}$; D. = 3; P.S. = 6,3. Elle est incolore, transparente ou translucide; quelquefois grise, jaunâtre ou brune. Eclat très vif, adamantin ou gras. Optiquement +; P.A. ∥ (010); $B_a \perp (100)$; $n_\alpha = 1,8771$; $n_\beta = 1,8823$; $n_\gamma = 1,8936$. $2V_a = 75°24$ (rayons jaunes).

C. ch. $PbSO_4$, (73,6 °/. PbO); Décrépite; difficilement soluble dans les acides; décomposée par la potasse caustique en solution. Un fragment d'A. tenu dans une pince en platine, fond en globules blancs sans se décomposer (dans les mêmes conditions la Cérussite donne un globule jaune d'oxyde de plomb). L'A. se réduit sur le charbon et donne un globule de plomb, ce qui permet de la distinguer de la Pyromorphite.

L'A. est un produit de décomposition de la Galène; elle est souvent associé à la Limonite qui s'est formée aux dépens de la Chalcopyrite, de la Pyrite, etc. On rencontre de beaux cristaux d'A. à Wissen près de Siegen (Westphalie), dans l'île d'Anglesea ou Anglesey (près de Liverpool), à Monte

Poni et à Iglésias (Sardaigne), dans le Hartz, à Phenixville (Pensylvanie), etc. On la trouve en masses exploitables en Australie et au Mexique.

A l'Anglésite se rattachent la **Lanarkite** (Pb_2O) SO_4 des Lead Hills dans le Lanarkshire en Ecosse, et la **Linarite** [(Pb, Cu).OH]$_2$S O_4 qu'on trouve en cristaux bleu d'azur à Linarès (Espagne) et dans les Lead Hills; les cristaux de L. sont monocliniques et ordinairement allongés suivant l'axe de profil (fig. 256).

Alunite. — Rhomboédrique; $a : c = 1 : 1,252$. Se présente généralement en masses à structure grenue, compacte ou poreuse; on trouve dans ces pores des cristaux sous forme de petits rhomboèdres à faces bombées ressemblant à des cubes. Clivage parfait suivant la base $c = \{0001\}$; D. = 3 ½ à 4; P.S. = 2,6 à 2,8. L'A. est incolore, blanche, gris-jaunâtre ou rougeâtre; translucide, optiquement +; $n_\omega = 1,572$; $n_\varepsilon = 1,592$. C.ch. : $K(Al.2OH)_6 (SO_4)_2$. Au Ch. elle décrépite mais ne fond pas; elle dégage de l'eau dans le tube fermé, donne un *hépar* avec la soude et une masse bleue avec le nitrate de cobalt; inattaquable par l'acide chlorhydrique, peu soluble dans l'acide sulfurique concentré ou dans la potasse caustique. Calcinée et reprise par l'eau, l'A. donne des cristaux d'alun.

On trouve l'A. à la Tolfa près de Civita-Vecchia, à Muszay et à Bereghszasz en Hongrie, au Mont Dore en Auvergne, etc. Elle forme des lits, dans des roches trachytiques où elle s'est formée par l'altération de la roche sous l'action de sources et de vapeurs sulfureuses. Elle sert à la fabrication de l'alun.

La **Jarosite** $K (Fe.2OH)_6 (SO_4)_2$ de Jaroso (Sierra Almagrera en Espagne) est isomorphe avec l'Alunite.

Brochantite. — Rhombique; cristaux petits; la B. se présente ordinairement en masses réniformes à structure fibreuse, grenue ou compacte, vert-émeraude ou vert-noirâtre. C.ch. : $(Cu.OH)_2SO_4.2Cu(OH)_2$. Rezbanya (Hongrie), Chaffee Cy (Colorado), etc.

Crocoïse. — (Du grec χρόκος = safran.) Monoclinique; cristaux prismatiques allongés suivant l'axe vertical; formes dominantes : {110}, {111}, {40$\bar{1}$}, {120}; les faces de prisme verticales sont souvent striées verticalement. Clivage assez parfait suivant {110}; D = 2 ½ à 3; P.S. = 6. Eclat adamantin passant à l'éclat gras; la C. est translucide, rouge-jaunâtre, à poussière jaune-orangé. C. ch. : $PbCrO_4$. Au Ch. elle décrépite vivement, fond avec facilité et donne une scorie qui renferme des globules de plomb. Soluble dans l'acide chlorhydrique avec dépôt de chlorure de plomb. On trouve la C. sur la Galène dans des filons quartzeux traversant le Granite à Beresowsk (Oural), dans un Granite décomposé à Villarica (Brésil), à Labo (Ile de Luçon), etc.

On trouve avec la Crocoïse la **Phoenicite** $Pb (Pb_2O) (CrO_4)_2$ et la **Vauquelinite** $(Pb,Cu) (Pb_2O) (CrO_4)_2$.

WULFÉNITE. — Tétragonale avec hémiédrie pyramidale; $a : c = 1 : 1,574$; cristaux généralement carrés, tabulaires, quelquefois très minces. Formes dominantes : $P = \pi \{111\}$, $c = \pi \{001\}$, $m = \pi \{110\}$; on observe quelquefois des tritoprismes, par exemple $t = \pi \{430\}$ (fig. 577). Clivage suivant $P = \pi (111)$ (voir la fig. 578 qui donne une projection

orthogonale sur (001)). D. = 3; P. S. = 6,3 à 6,9. Éclat adamantin passant à l'éclat gras; transparente ou translucide; jaune de miel, jaune citron ou grise, rarement rouge. Optiquement —; $n_\omega = 2,402$; $n_\varepsilon = 2,304$ (rayons rouges).

C. ch. : $PbMoO_4$ (61,4 °/₀ PbO). Au Ch. la W. décrépite vivement, fond

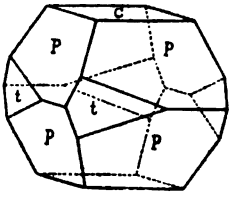


Fig. 577.

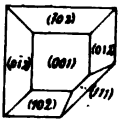


Fig. 578.

avec facilité et se réduit, sur le charbon, en un bouton de plomb; elle est attaquée par les acides, et donne avec l'acide sulfurique concentré une solution bleue. On trouve la W. dans les gîtes de Galène, à Bleiberg (Carinthie), Przibram (Bohême), Takomah-Mine (Utah), Phenixville (Pensylvanie). Elle se présente aussi en masses compactes ou terreuses à Höllenthal en Bavière.

SCHEELITE. — Isomorphe avec la Wulfénite; $a : c = 1 : 1,536$; cristaux pyramidaux; les formes ordinaires sont : $p = \pi\{101\}$, $n = \{111\}$, et des tritopyramides comme $x = \pi\{3\bar{1}1\}$ (fig. 579).

Clivage parfait suivant $\pi\{111\}$; minéral cassant; D. = 4 ½ à 5; P.S. = 6. La S. est blanc-grisâtre, jaunâtre ou brunâtre, rarement verte ou rouge; éclat gras ou adamantin. Optiquement —; $n_\omega = 1,934$; $n_\varepsilon = 1,918$ (rayons rouges). C. ch. : $CaWO_4$ (80,5 °/₀ WO_3). Au Ch. elle fond difficilement en un verre transparent qui devient laiteux après refroidissement; l'acide nitrique et l'acide chlorhydrique la décomposent et donnent un dépôt d'anhydride tungstique WO_3, jaune, soluble dans les alcalis.

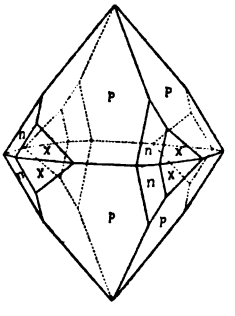


Fig. 579.

La S. se rencontre dans les gîtes stannifères avec la Wolframite aux dépens de laquelle elle s'est formée; Erzgebirge, Cornouailles, Tavistock, mines de Cassitérite à Monroe (Connecticut). On la trouve aussi dans des gîtes de Galène (Hartz, Cumberland); dans des gisements de Limonite (Framont en Alsace) et de Magnétite (Traversella en Piémont).

La **Powellite** $CaMoO_4$, la **Cuproscheelite** $(Ca,Cu)WO_4$, la **Reinite** $FeWO_4$, et la **Stolzite** $PbWO_4$ sont isomorphes avec la Wulfénite et la Scheelite.

WOLFRAMITE. — Monoclinique : formes communes : $m = \{110\}$, $a = \{100\}$, $d = \{102\}$, $n = \{10\bar{2}\}$, $u = \{011\}$ (fig. 580). Cristaux prismatiques suivant l'axe vertical ou tabulaires suivant $a = \{100\}$. Macles très fréquentes suivant $a = \{100\}$; on observe aussi, mais moins souvent, des macles suivant $\{023\}$. La W. se présente aussi en masses laminaires, rayonnées ou compactes. Clivage parfait suivant (010); cassure inégale; D. = 5 à 5 ½; P. S. = 7,14 à 7,54. Eclat métallique passant au gras ou à l'adamantin; la W. est gris-sombre ou noir de fer, à poussière rouge brunâtre ou noire; quelquefois translucide sur les bords.

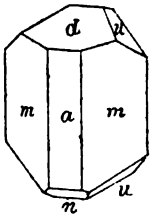


Fig. 580.

C. ch. : $(Mn,Fe)WO_4$. (75 % WO_3). Au Ch. elle fond difficilement en un globule magnétique; réduite en poudre elle se colore en bleu par l'action de l'acide sulfurique concentré; l'acide chlorhydrique la dissout avec dépôt d'anhydride tungstique soluble dans l'ammoniaque.

On trouve la W. avec les minéraux des gîtes stannifères dans les parties périphériques des Granites et dans leurs roches de contact. Zinnwald et Schlaggenwald (Bohême), Cornouailles, etc. On la rencontre également dans des gîtes de Galène à Neudorf (Hartz), dans des filons quartzeux près de Nertschinsk (Oural), et sous forme d'aiguilles très fines dans un Trachyte à Felsöbanya (Hongrie).

La W. sert à la fabrication de l'acier au tungstène et à la préparation de certaines couleurs.

La **Hübnérite** $MnWO_4$ et la **Ferberite** $FeWO_4$ sont isomorphes avec la Wolframite.

Pechurane. — Cubique. Les cristaux, extrêmement rares, sont de petits tétraèdres; la P. se présente ordinairement en imprégnations ou en masses réniformes à structure compacte. D. = 3 à 6; P.S. = 5 à 9; couleur noir de poix ou noir brunâtre; poussière vert foncé ou noir brunâtre; éclat gras, opaque.

C. ch. : ce minéral est essentiellement une combinaison de UO_2 et de UO_3, mais renferme beaucoup d'autres substances : du plomb, du fer, de l'arsenic, du calcium, de la silice, de l'eau, etc. Infusible au Ch., soluble à chaud dans l'acide nitrique; cette solution précipite en jaune pâle par l'ammoniaque.

On rencontre la P. dans des filons métallifères, surtout dans l'Erzgebirge, à Przibram (Bohême), en Cornouailles, en Scandinavie, au Lac Supérieur et dans le Mitchell Cy. (États-Unis). Elle se décompose facilement et donne naissance à d'autres minéraux uranifères; c'est le seul minerai important d'urane.

Groupe B. — Sulfates, etc. hydratés.

Ce groupe comprend les sulfates, etc. contenant une ou plusieurs molécules d'eau de cristallisation, qui se dégage à une température peu

élevée, ou même, pour certains d'entre eux, sous l'influence de la sécheresse sans qu'il soit nécessaire de les chauffer.

Mirabilite. — Monoclinique. Cristaux rares, allongés suivant l'axe de front par suite de la prédominance des formes {100} et {001}. La M. se présente ordinairement en efflorescences, en incrustations ou en enduits pulvérulents. Clivage parfait suivant (100). D. = 1 ½ à 2; P.S. = 1 ½. Incolore, translucide. C. ch. : $Na_2SO_4 . 10H_2O$. Saveur fraîche et amère; soluble dans l'eau, facilement fusible. Exposée à l'air elle se décompose en perdant 8 molécules d'eau. On trouve la M. dans les gîtes de Sel-gemme (Hallstadt, Berchtesgaden, etc.), à Lodosa et Logroño (vallée de l'Ebre), à Bompensieri (Sicile), près de Tiflis dans le Caucase où elle forme des couches dont l'épaisseur atteint 7 mètres.

GYPSE. — (De γύψος nom grec de ce minéral.) — Monoclinique, $a : b : c = 0,6891 : 1 : 0,4156$; $\beta = 98°55'$. Cristaux prismatiques, allongés suivant l'axe vertical, ou tabulaires suivant {010}. Les formes les plus communes sont : $b = \{010\}$, $f = \{110\}$, $l = \{111\}$, $n = \{11\bar{1}\}$, $o = \{\bar{1}03\}$; (fig. 581, 582 et 583). Les faces, surtout celles de *l* et de *o*, sont quelquefois bombées ou courbes (fig. 583). Angles : (110) : (110) = 68°30'; (111) : (111) = 36°30'; (11$\bar{1}$) : (11$\bar{1}$) = 41°28'; (111) : (110) = 49°9'. On oriente les cristaux en observant que le biseau *l* est plus obtus que le biseau *f*. Les macles, très fréquentes, se font suivant deux lois : 1° Plan de macle (100) (fig. 584); cette macle dite *en queue d'hirondelle*, s'observe surtout sur les

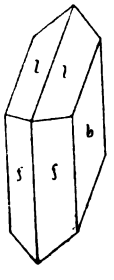


Fig. 581.

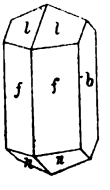


Fig. 582.

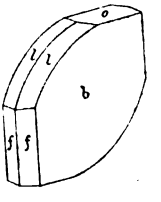


Fig. 583.

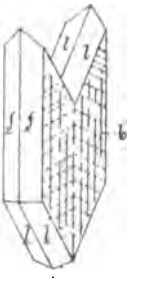


Fig. 584.

cristaux prismatiques suivant *f* et sur les cristaux tabulaires suivant *b*; l'angle rentrant compris entre les arêtes des faces *l* mesure 104°58'. — 2° Plan de macle (101); c'est la *macle en fer de lance* (fig. 585); on l'observe surtout pour les cristaux plus ou moins lenticulaires terminés par les faces fortement recourbées de *l*, *o* et *n*.

Clivage très parfait suivant $b = \{010\}$, moins parfait suivant les deux faces de $n = \{11\bar{1}\}$, et imparfait suivant {100}. Les faces de clivage suivant *b* {010} offrent un éclat nacré, celles du clivage suivant *n* un éclat soyeux; enfin l'éclat des faces de clivage suivant {100} est vitreux. Les deux derniers

clivages sont marqués par des stries sur les faces *b*; on voit dans les figures 584 et 585 comment ces stries sont dirigées sur les faces *b* des cristaux maclés : les traits pleins indiquent le clivage suivant {100} et les traits pointillés le clivage suivant $n = \{1\bar{1}1\}$. D. = 1 ½ à 2; P.S. = 2, 3. Le G. se laisse rayer par l'ongle. Son éclat est nacré sur les faces *b*, vitreux sur les autres faces. Il est transparent, translucide ou opaque; incolore, blanc, gris, jaunâtre, brun, rougeâtre ou noir. Optiquement

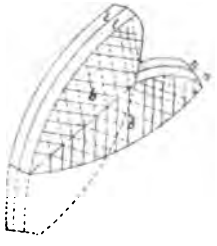


Fig. 585

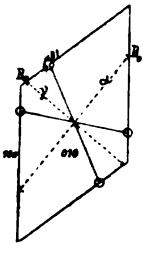


Fig. 586.

+. P.A. ∥ (010); B_a fait avec l'axe vertical *c* un angle de 50°½ (fig. 586); $n_\alpha = 1,5205$; $n_\beta = 1,5226$; $n_\gamma = 1,5296$. $2V_a = 58°5'$ (rayons jaunes). L'angle des axes optiques varie beaucoup avec la température: à 20° 2E = 95°; à 115° 2E = 0°; au dessus de 115° les axes s'ouvrent dans un plan perpendiculaire à (010).

C. ch. : $CaSO_4 . 2H_2O$ (32,5 °/₀ CaO; 46,5 °/₀ SO_3; 21 °/₀ H_2O). Dégage de l'eau dans le matras. Au Ch. décrépite, blanchit en s'exfoliant, et fond difficilement en un émail blanc; donne un *hépar* avec la soude; fond avec la Fluorine en une perle limpide qui devient opaque par refroidissement. Soluble dans 380 à 460 fois son volume d'eau; le G. est peu attaquable aux acides, mais il se décompose parfaitement dans une solution bouillante de carbonate de potassium.

Le G. est très répandu dans les terrains sédimentaires; il est ordinairement associé au Sel-gemme et à l'Anhydrite ; on le rencontre en cristaux et en masses lamelleuses ou fibreuses dans l'argile (Shotover Hill près d'Oxford, Ellsworth dans l'Ohio, etc.), dans les fissures et les cavités du Gypse grenu, dans les gîtes de Sel-gemme, dans les gisements de Soufre (Girgenti en Sicile). Sous forme de masses quelquefois énormes, à structure grenue, formant des amas ou des croûtes, le G. se présente, en même temps que l'Anhydrite, dans les formations géologiques de toutes les époques et surtout dans le terrain permien (Hartz, Oural, etc.), dans le Trias (Alpes : Hallstadt, Berchtesgaden, Hall, etc.), dans les terrains tertiaires (Montmartre, bassin de Vienne, Wieliczka en Galicie, Sicile, etc.). Il se trouve aussi, bien que

rarement, dans les filons métallifères, dans les fissures des laves du Vésuve et de l'Etna.

Le G. s'est formé par l'évaporation de bassins marins ou par l'action des eaux sulfureuses sur le Calcaire; très souvent aussi sa formation est due à l'hydratation de l'Anhydrite. Il se produit également par la décomposition de minéraux sulfurés. (Pyrite, Chalcopyrite, etc.) en présence du Calcaire.

Les belles variétés de G. blanches et finement grenues, qu'on désigne sous le nom d'*Albâtre* (Albâtre de Volterra en Toscane) servent à sculpter des objets d'ornement, les autres variétés sont utilisées comme engrais, ou pour la fabrication du verre et de la porcelaine, mais le principal usage du G. est la fabrication du plâtre.

Kieserite. — Monoclinique; $a : b : c : = 0{,}9047 : 1 : 1{,}7739 : \beta = 91°7'$. Cristaux rares, pyramidaux, offrant comme faces dominantes les pyramides $\{111\}$ et $\{11\bar{1}\}$. La K. se présente ordinairement en masses finement grenues ou compactes. D. = 3; P. S. = 2,57. Elle est incolore ou jaunâtre, à reflets bleuâtres. C. ch. : $MgSO_4.H_2O$. Dégage de l'eau dans le matras; lentement soluble dans l'eau. Exposée à l'air, la K. absorbe de l'eau et se transforme en Epsomite. On la trouve à Stassfurt (Hartz) en couches continues, épaisses de 30 à 40 centimètres environ, alternant avec des couches de Sylvine. On la rencontre aussi en grandes masses à Hallstatt (Haute Autriche) et à Kalusz (Galicie).

Cyanose. — Triclinique. — Cristaux rares; formes principales : $m = \{110\}$, $M = \{1\bar{1}0\}$. $P = \{11\bar{1}\}$ (fig. 262). La C. se présente ordinairement en masses stalactitiques ou mamelonnées, et en incrustations. D. = 2 ½; P. S. = 2,3. Elle est bleue, à éclat vitreux, translucide. C.ch. : $CuSO_4.5H_2O$. La C. possède une saveur métallique et désagréable; elle est facilement soluble; donne un bouton de cuivre sur le charbon avec la soude. C'est un produit de décomposition de la Chalcopyrite et d'autres sulfures de cuivre. Rammelsberg (Hartz), Herrengrund (Hongrie), Moldova, etc.

Epsomite. — Rhombique, sphénoïdale; $a : b : c : = 0{,}9901 : 1 : 0{,}5709$. Les cristaux artificiels sont prismatiques suivant l'axe vertical; formes ordinaires : $m = \times \{110\}$, $z = \times \{111\}$, $l = \times \{1\bar{1}1\}$ (fig. 587). Angles : (110) : $(1\bar{1}0) = 89°22'$; (111) : (110) = 50°57'. Le prisme $\{110\}$ est donc presque rectangulaire. Clivage parfait suivant (010). D. = 2 à 2 ½; P. S. = 1,8. Incolore, translucide; optiquement —; P. A. ∥ (001); $B_a \perp$ (010). C. ch. : $MgSO_4.7H_2O$. Saveur saline et amère; très soluble dans l'eau. Dégage beaucoup d'eau dans le matras. L'E. se trouve, comme produit d'altération de la Kiesérite, en masses grenues, fibreuses ou terreuses, dans les gîtes de Sylvine; elle se présente aussi en efflorescences à la surface du sol dans les steppes de Sibérie, en Catalogne, aux environs de Madrid, etc. et sur certaines roches (Gneiss, Schistes, etc.).

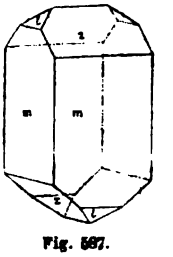


Fig. 587.

La **Goslarite** $ZnSO_4.7H_2O$ et la **Morénosite** $NiSO_4.7H_2O$ sont isomorphes avec l'Epsomite.

Mélantérite. — Monoclinique. Les cristaux naturels sont rares; formes dominantes : $\{110\}$ et $\{001\}$ dont la combinaison ressemble à un rhomboèdre.

La M. se présente généralement en masses stalactitiques ou réniformes et en incrustations. Clivage parfait suivant (001), moins parfait suivant {110}. D. = 2; P. S. = 1,9. Ce minéral est vert mais brunit à l'air. C. ch. : $FeSO_4.7H_2O$. Saveur astringente, très soluble dans l'eau. La M. se forme sur les minerais de fer sulfurés (Pyrite, Marcasite, Pyrrhotine, etc.) par altération. Rammelsberg au Hartz, Fahlun, Schemnitz, Idria (Carinthie).

La **Mallardite** $MnSO_4.7H_2O$, la **Pisanite** $(Cu,Fe)\ SO_4.7H_2O$, la **Cupromagnésite** $(Cu,Mg)SO_4.7H_2O$, et la **Biebérite** $CoSO_4.7H_2o$ sont isomorphes avec la Mélantérite.

Polyhalite. — Monoclinique ou rhombique. Cristaux prismatiques très allongés ou masses bacillaires, fibreuses, lamelleuses ou compactes. D. = 3 à 3 ½; P.S. = 2.7. Blanche, grise, jaune mais le plus souvent rouge-chair ou rouge-brique; translucide. C. ch. : $K_2MgCa_2(SO_4)_4.2H_2O$. Soluble dans l'eau avec dépôt de Gypse. On trouve la P. dans les gîtes de Sel-gemme à Stassfurt, Berchtesgaden, Aussee, Vic (Lorraine), Stebnik (Galicie), etc.

Aluns. — Les Aluns forment un groupe de substances isomorphes appartenant au système cubique, et dont les formes dominantes sont toujours l'octaèdre {111} le cube {100} et le rhombododécaèdre {110}; mais ces deux dernières formes sont moins fréquentes. C. ch. : $R''R'''_2(SO_4)_4.24H_2O$; $R'' = K_2$, Na_2, $(NH_4)_2$, Mg, Mn, Fe; et $R''' = Al$, Fe, Cr.

Les deux minéraux les plus importants de ce groupe sont l'*Alun potassique* $K_2Al_2(SO_4)_4 . 24H_2O$, et l'*Alun ammoniacal* $(NH_4)_2Al_2(SO_4)_4.24H_2O$. On les trouve dans les fissures des laves, sous forme d'efflorescences sur des Lignites, etc.

Parmi les sulfates hydratés d'aluminium et de fer, qui sont très nombreux, notons la **Kéramohalite** $Al_2(SO_4)_5.18H_2O$, qui se présente en aiguilles très fines à éclat soyeux, et en croûtes à structure fibreuse sur des roches aluminifères; la **Coquimbite** $(Fe, Al)_2(SO_4)_3.9H_2O$, agrégats finement grenus, et cristaux incolores prismatiques ou tabulaires appartenant à l'hémiédrie rhomboédrique du système hexagonal; et enfin la **Copiapite** $(Fe.OH)_2\ Fe_2\ (SO_4)_5 . 18H_2O$, monoclinique, cristaux tabulaires jaunâtres. Ces deux derniers minéraux se trouvent à Copiapo, Province de Coquimbo au Chili.

Nous plaçons à la fin de ce groupe les combinaisons de sulfates avec des chlorures et de sulfates avec des carbonates.

Kaïnite. — Monoclinique; $a : b : c = 1,2186 : 1 : 0,5863$; $\beta = 94°54'$. Cristaux tabulaires suivant {001}; formes dominantes : {001}, {111}, {11$\bar{1}$}. Angles : (111) : (1$\bar{1}$1) = 54°1'; (11$\bar{1}$) (1$\bar{1}\bar{1}$) = 57°11'; (111) : (001) = 35°58'. Clivage parfait suivant {100}, moins parfait suivant {110}. D. = 2; P.S. = 2,1. La K. est parfois incolore mais le plus souvent grise ou jaunâtre. P.A. || (010). C. ch. : $MgSO_4.KCl.3H_2O$. Très soluble dans l'eau; de cette solution se déposent d'abord des cristaux de *Picromérite* $K_2Mg(SO_4)_2 . 6H_2O$; puis d'Epsomite $MgSO_4.7H_2O$. La K. se présente en masses considérables à structure grenue ou compacte, dans les couches de Sylvine, à Stassfurt (Hartz) et à Kalusz (Galicie). On observe souvent de très beaux cristaux de ce minéral dans les fissures et les cavités des couches qu'il forme, et dont l'épaisseur dépasse quelquefois 20 mètres.

La Leadhillite. $(Pb.OH)_2Pb_2(CO_3)_2(SO_4)$, monoclinique, cristaux tabulaires suivant (001), blancs, jaunâtres ou verdâtres; se trouve dans les Lead Hills (Ecosse), à Red Gill (Cumberland), à Iglésias (Sardaigne) et à Nertschinsk (Oural).

VII• CLASSE. — BORATES, ALUMINATES, FERRITES, ARSENITES, ANTIMONITES.

Les hydroxydes $B(OH)_3$, $Al(OH)_3$, $Cr(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Mn(OH)_3$, $As(OH)_3$, $Sb(OH)_3$ *jouent le rôle d'acides avec les bases puissantes. En enlevant à ces hydroxydes une molécule d'eau (par exemple :* $B(OH)_3 - H_2O = BO.OH$), *on obtient des composés tels que* BO.OH, AlO.OH, *etc. dont les sels constituent la plus grande partie des minéraux de cette classe.*

Groupe A. — Borates etc. anhydres.

BORACITE. — Les cristaux appartiennent en apparence à l'hémiédrie tétraédrique du système cubique. On observe le plus souvent les combinaisons des formes $t = \varkappa\{111\}$; $t' = \varkappa\{1\bar{1}1\}$, $c = \varkappa\{100\}$ et $d = \varkappa\{110\}$,

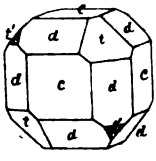


Fig. 588.

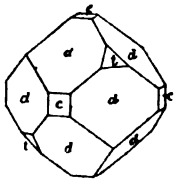


Fig. 589.

(fig. 588 et 589), plus rarement $\varkappa\{211\}$ et $\varkappa\{531\}$. Les faces t sont lisses et les faces t' souvent mates ou raboteuses (fig. 588). Cassure écailleuse; D. = 7; P.S. = 3. La B. possède un éclat vitreux, elle est transparente ou translucide, incolore, blanche, verdâtre, jaunâtre ou grisâtre. Pyroélectrique. L'étude optique des cristaux de B. montre qu'ils ne sont pas isotropes, mais composés de plusieurs plages ou lamelles biréfringentes qui semblent appartenir au système rhombique, et dont la disposition dépend en quelque sorte, de la forme extérieure du cristal; c'est ainsi que les rhombododécaèdres sont formés par douze pyramides rhombiques ayant pour sommet commun le centre, et pour base une face du rhombododécaèdre. P.A. ∥ à la longue diagonale de la face du rhombododécaèdre; la bissectrice est ⊥ à cette face. A 265° la B. devient brusquement isotrope, les lamelles maclées disparaissent et le minéral cesse d'être pyroélectrique, quoi qu'il n'ait subi aucune modification chimique.

C. ch. : $Mg_7Cl_2B_{16}O_{30}$; la B. est un sel de l'acide $HO - B <^{O}_{O}> B - OH$ dont elle contient 8 molécules. Au Ch. elle colore la flamme en vert, bouillonne et fond difficilement en une perle limpide qui devient laiteuse et opaque par refroidissement. Réduite en poudre fine, la B. se dissout lentement dans l'acide chlorhydrique et dans l'acide nitrique.

On trouve la B. en cristaux isolés dans le Gypse et l'Anhydrite (Lüneburg en Hanovre, Segeberg près de Kiel, Lunéville en France), et en cristaux groupés en druses, ou sous forme de nodules pugillaires fibreux (*Stassfurtite*) dans la Carnallite de Stassfurt.

X **SPINELLE.** — Cubique; se présente le plus souvent en octaèdres $o = \{111\}$, (fig. 590), qui sont ordinairement déformés par le développement excessif de deux faces parallèles (fig. 591); on observe aussi les formes $\{110\}$, $\{311\}$ et $\{100\}$, cette dernière est rare. Macles très fréquentes suivant $o = \{111\}$, (fig. 592). Cette macle est si commune pour ce groupe qu'on la

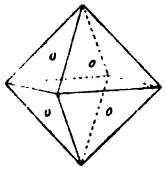


Fig. 590.

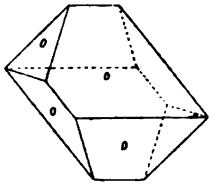


Fig. 591.

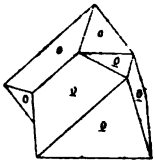


Fig. 592.

désigne sous le nom de *Macle du Spinelle*. Clivage imparfait suivant $\{111\}$; cassure écailleuse; D = 8; P.S. = 3,5 à 4. Le S. offre un éclat vitreux, il est transparent ou opaque; $n = 1,712$ à $1,715$ (rayons jaunes); sa couleur est variable : rouge foncé (*Rubis Spinelle*), rouge pâle (*Rubis balais*), jaune d'or (*Rubicelle*), bleu, vert ou brun (*Ceylanite*, *Candite*), vert (*Chlorospinelle*), noir (*Pléonaste*).

C. ch. : $Mg(AlO_2)_2$ ou $MgO.Al_2O_3$; infusible, inattaquable par les acides; pourtant le S. réduit en poudre se décompose parfaitement quand on le chauffe avec le bisulfate de potasse. La magnésie est souvent remplacée par du protoxyde de fer ou de manganèse, et l'alumine par de l'oxyde ferrique ou chromique; de là les diverses variétés signalées plus haut.

Le S. est un minéral caractéristique des roches de contact; on le trouve surtout dans les Calcaires et les Dolomies métamorphiques (Monzoni en Tyrol, Aker en Sudermanie, Warwick et Amity dans l'Etat de New-York, Bolton dans le Massachusetts, etc.), et dans les amas sableux provenant de la décomposition de ces roches (Ceylan, Indes Orientales, Siam, etc.); il se rencontre aussi dans les Schistes chloriteux (Slatoust dans l'Oural), dans des roches riches en Olivine (Pyrénées), et dans la Serpentine.

Les belles variétés rouges et transparentes de S. sont recherchées comme pierres précieuses.

Gahnite. — Isomorphe avec le Spinelle; formes ordinaires $\{111\}$ et $\{110\}$; macles suivant $\{111\}$. Clivage parfait suivant $\{111\}$; D. = 8; P. S. = 4, 3; éclat gras; translucide sur les bords ou opaque; vert noirâtre ou bleuâtre. C. ch. : $Zn(AlO_2)_2$;

elle contient toujours une quantité plus ou moins forte d'oxyde ferreux et d'oxyde ferrique; infusible; avec la soude sur le charbon elle donne une aréole d'oxyde de zinc. On trouve la G. en cristaux et en masses grenues dans un Schiste talqueux à Fahlun (Suède), dans le Calcaire à Franklin (New Jersey), à Catanzaro (Calabre), dans le Granite à Haddam (Connecticut), dans les Sables diamantifères de Minas-Geraës (Brésil) et dans certains gîtes métallifères.

Franklinite. — Isomorphe avec le Spinelle. Les cristaux présentent les formes {111} et {110}; on la rencontre aussi en imprégnations et en masses compactes. D. = 6 à 6 ½; P. S. = 5. Eclat submétallique; noir de fer; opaque. C. ch. : (Zn, Mn) $(Fe\,O_3)_2$. Au Ch. elle est infusible, mais brille d'un vif éclat en projetant des étincelles; elle donne une aréole d'oxyde de zinc sur le charbon. On trouve la F. associée à la Zincite dans le Calcaire grenu de Franklin et de Sterling (New Jersey).

CHROMITE ou Fer chromé. — Isomorphe avec le Spinelle, se présente en cristaux octaédriques, en masses compactes, en imprégnations et en grains. Cassure écailleuse ou irrégulière; D. = 5 ½; P.S. = 4,5. Couleur noir-brunâtre, poussière brune; éclat semi-métallique, quelquefois gras.

C. ch. : $Fe\,(CrO_3)_2$, contient des quantités variables de FeO, MnO, Al_2O_3 et Fe_2O_3. Infusible au Ch., devient magnétique au feu de réduction; inattaquable par les acides; le minéral réduit en poudre et fondu avec le nitre, donne dans l'eau une solution jaune.

On trouve la C. en masses et en agrégats noirs dans la Serpentine à Frankenstein (Silésie), à Kraubat (Styrie), dans l'Oural, dans les îles de l'Archipel grec, à la Nouvelle Calédonie, à Smyrne (Asie-Mineure), etc. C'est le seul minerai qui serve à la préparation des sels de chrome; on en extrait environ 53,000 tonnes par an.

MAGNÉTITE. — (Du latin *magnes* = aimant.) — Isomorphe avec le Spinelle, présente le plus souvent l'octaèdre o = {111}, quelquefois le rhombododécaèdre d = {110} ou d'autres formes, très nombreuses, telles que

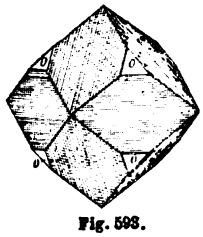


Fig. 593.

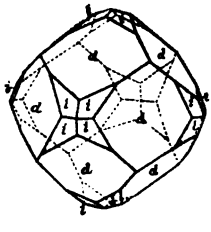


Fig. 594.

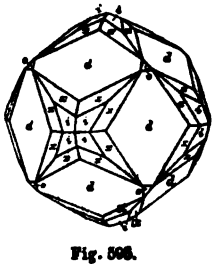


Fig. 595.

i = {311}, x = {531}, etc. (fig. 593, 594 et 595). Les faces du rhombododécaèdre sont striées parallèlement à leur grande diagonale, c'est-à-dire à l'arête (110) : (111) (fig. 593.). Ce minéral offre des macles et quelquefois

des lamelles polysynthétiques suivant les faces {111}. Cassure écailleuse ou irrégulière; D. = 5 ½ à 6; P.S. = 5. Couleur noir de fer, poussière noire, éclat métallique; opaque. La M. est fortement magnétique, elle agit toujours sur l'aiguille aimantée et peut présenter des pôles de nom contraire. Sa variété compacte constitue la *Pierre d'aimant*.

C. ch. : $Fe(FeO_2)_2$; quelquefois titanifère. Très difficilement fusible; se dissout lentement mais complètement dans l'acide chlorhydrique concentré.

La M. est très répandue dans la nature; on la trouve en cristaux isolés dans les Schistes talqueux, les Schistes chloriteux, la Serpentine (Alpes, Zöptau en Moravie, Suède, etc.); dans le Calcaire métamorphique (Moravitza dans le Banat, etc.); en cristaux implantés dans les fissures des Schistes cristallins (Traversella en Piémont, Binnenthal, etc.). En masses grenues ou compactes elle forme souvent, dans les Schistes cristallins, des lits et des amas qui constituent de véritables montagnes (Dannemora, Nordmark, Langban, Gellivara et autres localités de Suède, Arendal en Norvège, Oural, Schmiedeberg en Silésie, Saxe, région septentrionale des Etats-Unis, etc.). Sous forme de grains et de cristaux quelquefois microscopiques elle constitue un élément accessoire de presque toutes les roches éruptives, surtout des roches basiques (Diabase, Gabbro, Basalte, etc.); elle peut même se concentrer en certains points de ces roches et former ainsi des gites importants (Slatoust et Goro Blagodat dans l'Oural, etc.). Quand la roche mère de la M. se décompose, le minéral s'isole et va s'accumuler dans les sables des rivières, au bord des lacs, dans les ornières des routes, etc.

En raison de son abondance, de sa teneur élevée en fer et de sa grande pureté, la M. est un minerai de fer extrêmement important.

La **Hercynite** $(Fe, Mg)(AlO_2)_2$, la **Picotite** $(Fe, Mg)[(Al, Fe, Cr)O_2]_2$, la **Jacobsite** $Mn[(Fe, Mn)O_2]_2$, la **Magnésioferrite** $Mg(FeO_2)_2$, la **Titanomagnétite** $Fe[(Fe, Ti)O_2]_2$ sont isomorphes avec le Spinelle.

Chrysobéryl.— Rhombique : $a:b:c = 0,47:1:0,58$; présente les faces $a = \{100\}$, $n = \{120\}$, $b = \{010\}$, $i = \{011\}$, $p = \{111\}$, $s = \{121\}$, (fig. 596 et 597). Les faces de a

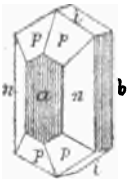


Fig. 596.

Fig. 597.

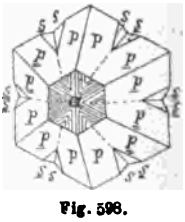


Fig. 598.

et de b sont striées verticalement. Angles : (120) : $(1\bar{2}0) = 86°26'$; (011) : $(0\bar{1}1) = 60°14'$; (111) : $(1\bar{1}1) = 40°7'$; (121) : $(1\bar{2}1) = 72°16'$. Macle fréquente suivant {031} qui, en se répétant, forme des groupes de trois individus (fig. 598) offrant souvent l'aspect d'un

mineral hexagonal, surtout lorsque l'angle rentrant, qui dévoile la macle, tend à disparaître; quand les terminaisons n'existent pas on peut toujours reconnaître la macle en étudiant les stries des faces *a*, qui s'entrecroisent sur la macle suivant trois directions différentes (fig. 598). Cassure écailleuse, clivage parfait suivant $b = \{010\}$, imparfait suivant $a = \{100\}$. D. = 8 1/2; P.S. = 3,65 à 3,8. Eclat vitreux, gras dans la cassure; transparent ou translucide; couleur blanc-verdâtre, vert-olive, vert d'herbe. Optiquement +, P. A. ∥ (010). B*a* ⊥ (001); $n_\alpha = 1{,}747$, $n_\beta = 1{,}748$, $n_\gamma = 1{,}756$; $2Va = 45°20'$. Le C. est polychroïque; les vibrations ∥ β sont oranges et jaunes, celles ∥ γ vert émeraude, et celle ∥ α rougeâtres.

La variété désignée sous le nom d'*Alexandrite* et qu'on rencontre dans l'Oural, se présente en cristaux verts qui paraissent rouges à la lumière artificielle.

C. ch. : $Be(AlO_2)_2$. Infusible, inattaquable; donne une masse violet-gris quand on le chauffe avec le nitrate de cobalt. Notons que la composition chimique de ce minéral est parfaitement analogue à celle des Spinelles.

On trouve le C. dans des Schistes cristallins (Marschendorf en Moravie, rivière Takowaia dans l'Oural, Haddam (Connecticut, etc.), dans le Granite avec Béryl et Grenat, et surtout dans les alluvions à pierres fines de Ceylan, du Pérou et du Brésil.

Les belles variétés transparentes de C. et surtout celles qui présentent des reflets opalescents sont très recherchées pour la joaillerie.

Les Arsenites et les Antimonites sont des minéraux rares; nous mentionnerons la **Nadorite** $(PbCl)SbO_2$, qu'on trouve en cristaux tabulaires rhombiques à Gebel-Nador près de Constantine, ainsi que l'**Heliophyllite** $Pb_2O(PbCl)_4(AsO_3)_2$ et l'**Ochrolite** $Pb_2O(PbCl)_4(SbO_3)_2$, deux minéraux rhombiques et isomorphes qu'on rencontre dans la mine de Harstig près de Paysberg en Suède.

Groupe B. — Borates etc. hydratés.

BORAX. — Monoclinique; $a : b : c = 1{,}0997 : 1 : 0{,}5394$; $\beta = 106°35'$. Les cristaux présentent communément les formes $a = \{100\}$, $m = \{110\}$, $c = \{001\}$, $p = \{11\bar{1}\}$, $s = \{22\bar{1}\}$, (fig. 599); ils sont généralement aplatis suivant $\{100\}$ et allongés suivant le prisme *m*. Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 93°0'$; $(110) : (001) = 78°40'$; $(001) : (\bar{1}11) = 40°30'$; $(1\bar{1}\bar{1}) : (11\bar{1}) = 57°26'$.

Macles suivant (100). Clivage distinct suivant $a = \{100\}$, imparfait suivant $m = \{110\}$; D = 2 1/2, P.S. = 1.8. Eclat gras; transparent; incolore ou grisâtre. P.A. ⊥ (010); double réfraction négative avec dispersion croisée : la bissectrice négative est normale à (010) pour toutes les couleurs, mais les extinctions dans (010) se font sous des angles qui varient avec la couleur de la lumière; pour les rayons bleus la bissectrice obtuse (B_o bleu) fait un angle de 54°50′ avec la verticale; pour les rayons rouges (B_o rouge) cet angle est de 56°50′ (fig. 600) : c'est ce qui produit la dispersion croisée lorsqu'on emploie la lumière blanche (voir page 137).

$2E = 59°53'$ pour le rouge; $n_\alpha = 1,4468$; $n_\beta = 1,4686$; $n_\gamma = 1,4715$ (rayons jaunes).

C. ch. : $Na_2B_4O_7.10\,H_2O$; saveur alcaline; au Ch. se boursoufle, noircit et fond en une perle limpide; colore la flamme en vert quand on l'humecte d'acide sulfurique; soluble à froid dans 14 fois son volume d'eau.

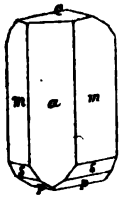


Fig. 599.

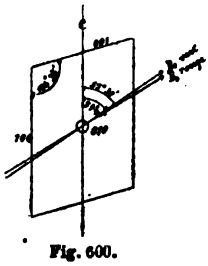


Fig. 600.

Le B. cristallise des eaux de certains lacs; sa formation se poursuit encore aujourd'hui. On trouve le B. dans la vase de ces lacs, associé au chlorure de sodium et à la soude, en Perse, au Thibet, en Californie, dans le Nevada (Etats-Unis).

Le B. est un minéral important au point de vue industriel; on l'emploie pour la métallurgie, pour la fabrication de certains verres et émaux, pour la soudure des métaux, en pharmacie, etc. Les Etats-Unis seuls en produisent 12,000 tonnes par an.

Ulexite. — Forme des nodules arrondis à structure finement fibreuse. P.S. = 1,8. Blanche. C. ch. : $NaCaB_5O_9.6H_2O$; se dissout facilement dans les acides nitrique et chlorhydrique dilués On trouve l'U. associée au Sel-gemme, au Gypse et à la Glaubérite, dans la partie méridionale de la Californie, au Chili et au Pérou; la production de ces deux derniers pays s'élève à plus de 20,000 tonnes par an.

Pandermite. — $Ca_2B_6O_{11}.3H_2O$. Se présente en nodules à structure grenue réunis en lits et en amas; on la trouve dans le Gypse à Panderma au bord de la mer de Marmara, où l'on en extrait annuellement environ 14,000 tonnes.

Colemanite. — Monoclinique; se présente en très beaux cristaux prismatiques; clivage très parfait suivant (010), distinct suivant (001); D. = 4 ½; P.S. = 2,4. Eclat vitro-adamantin; incolore ou laiteuse. C. ch. : $Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$. On trouve la C. en cristaux et en masses compactes dans des Calcaires en Californie (Death Valley, etc.).

VIIIe CLASSE. — PHOSPHATES, ARSÉNIATES, ANTIMONIATES, NIOBATES, TANTALATES.

Cette classe comprend les sels des acides $H_3R^VO_4$, $H_4R^V_2O_7$, HR^VO_3, *dans lesquels* R^V = P, As, Sb, Nb ou Ta. *Ces sels sont très nombreux, mais plusieurs d'entre eux constituent des minéraux extrêmement rares; nous ne décrirons que les plus importants.*

Groupe A. — Phosphates etc. anhydres.

Triphyline. — Rhombique, $a : b : c = 0,4848 : 1 : 0,5266$, cristaux rares, prismatiques; la T. se présente généralement en agrégats grenus ou compacts. Clivage parfait suivant (001); D. = 4 à 5; P.S. = 3,6; éclat gras; gris verdâtre ou bleuâtre; optiquement +. C. ch. : Li (Fe, Mn) PO_4; décrépite et fond facilement en une perle magnétique; soluble dans l'acide chlorhydrique. On trouve la T. à Bodenmais (Bavière) à Norwick (Massachusetts) etc.; elle se décompose facilement en donnant naissance à la *Pseudotriplite.*

La **Lithiophilite** $LiMnPO_4$, la **Natrophilite** $NuMnPO_4$ et la **Béryllonite** $NaBePO_4$ sont isomorphes avec la Triphyline.

Xénotime. — Tétragonale. $a : c = 1 : 0,6177$. Se présente en petits cristaux qui offrent les formes {111} et {110}, en imprégnations et en agrégats compacts. Clivage parfait suivant {110}. D. = 4 à 5; P.S. = 4 ⁴/₉, brun jaunâtre, brun rougeâtre ou gris pâle; éclat gras; translucide sur les bords. C. ch. : YPO_4. Infusible, décomposée par l'acide sulfurique. La X. se trouve associée au Zircon dans le sud de la Norvége (Pegmatites de l'île d'Hitterö, etc.) et dans certaines alluvions sableuses du Brésil, de la Georgie etc.

Monazite. — Monoclinique; $a : b : c = 0,9742 : 1 : 0,9227$; $\beta = 103° 46'$; les cristaux sont tabulaires suivant (100), ou prismatiques et trapus suivant {110} ou {101}. Clivage parfait suivant (001), moins parfait suivant (100); D. = 5; P. S. = 5,2. Eclat gras; jaune pâle, brun rougeâtre, rouge hyacinthe ou vert olive. C. ch. : (Ce, La, Di) PO_4; fusible sur les bords; décomposée par l'acide sulfurique. On trouve la M. en cristaux dans les Granites et dans les filons de Pegmatite de Miask dans l'Oural, et du Sud de la Norvège. A la suite de la décomposition de sa gangue, le minéral s'accumule dans certaines alluvions (*sables a Monazite* du Brésil, de l'Australie, etc.).

APATITE. — (Du grec ἀπατάω = tromper.) — L'A. présente l'hémiédrie pyramidale du système hexagonal; $a : c = 1 : 0,7346$. Les formes dominantes sont presque toujours $a = \pi\{10\bar{1}0\}$, et $c = \pi\{0001\}$; on observe en outre très fréquemment $p = \pi\{10\bar{1}1\}$, $v = \pi\{10\bar{1}2\}$, $z = \pi\{20\bar{2}1\}$, $s = \pi\{11\bar{2}1\}$, $i = \pi\{11\bar{2}2\}$, $d = \pi\{11\bar{2}0\}$, $u = \pi\{21\bar{3}1\}$, $h = \pi\{21\bar{3}0\}$, (fig. 601 et 602). Les tritoformes telles que *u* et *h* donnent aux

cristaux un cachet nettement hémiédrique; quand elles font défaut, ce qui arrive souvent, l'aspect des cristaux est holoédrique. Angles : (0001) : $(10\bar{1}2) = 22°59'$; (0001) : $(10\bar{1}1) = 40°18'$; $(10\bar{1}0)$: $(21\bar{3}1) = 30°20'$; $(10\bar{1}0)$: $(11\bar{2}1) = 44°17'$.

Clivages imparfaits suivant *a* et *c*; cassure conchoïdale ou inégale; D = 5; P.S. = 3,16 à 3,22. L'A. présente un éclat vitreux, résineux dans la cassure; elle est incolore, blanche, jaune, bleue, vert d'asperge (d'où le nom de *Spargelstein* qu'on donne à certaines variétés), violette, rouge ou brune; quelquefois opalescente avec teinte bleuâtre dans la direction de l'axe vertical, surtout pour les variétés incolores; les variétés colorées sont parfois polychroïques. Absorption $\varepsilon > \omega$. Optiquement —; biréfringence faible, $n_\omega = 1,64617$; $n_\varepsilon = 1,64171$ (rayons jaunes).

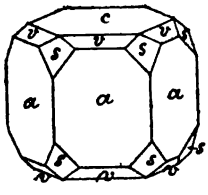


Fig. 601.

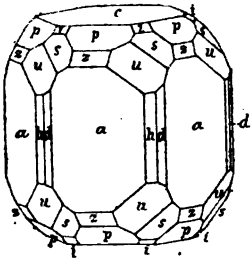


Fig. 602.

C. ch. : $Ca_5Fl(PO_4)_3$ ou $Ca_5Cl(PO_4)_3$. Fond difficilement sur les arêtes minces. Chauffée avec le sel de phosphore et l'oxyde de cuivre, elle colore la flamme en bleu d'azur. Soluble dans le chlorure de sodium fondu et dans les acides chlorhydrique et nitrique; la solution nitrique donne un précipité jaune par le molybdate d'ammoniaque. Les figures de corrosion de l'A. sont décrites page 181.

On a donné le nom de *Phosphorite* aux variétés d'A. compactes et mamelonées à structure radiée. L'*Ostéolite* est une A. impure et compacte, happant à la langue.

L'A. est le plus important et le plus répandu de tous les phosphates; on la trouve en beaux cristaux dans les Gneiss, les Micaschistes et les Schistes talqueux et chloriteux (St. Gothard, Sulzbachthal, Zillerthal, Pfitsch, etc.); dans des Calcaires grenus (à Hammond dans l'Etat de New-York et au Canada); dans des filons de Pegmatite (Epprechstein dans le Fichtelgebirge); dans des gîtes stannifères (Zinnwald, Schlaggenwald en Bohême, Ehrenfriedersdorf en Saxe, Cornouailles, etc.); en filons, quelquefois puissants traversant des Gabbros (Bamle en Norwège, Gellivara en Suède, Canada); enfin en cristaux microscopiques dans un grand nombre de

roches éruptives. Les cristaux peuvent atteindre des dimensions considérables, comme ceux, par exemple, qu'on trouve dans les Calcaires d'Hammond et dans les filons d'Apatite de Norvège, du Canada, etc. et dont le poids dépasse parfois 50 kilogrammes.

Les gisements de *Phosphorite* se sont formés aux dépens de l'acide phosphorique provenant de la décomposition de matières organiques. Ces gisements qui renferment quelquefois des masses considérables de Phosphorite, sont surtout importants au point de vue de l'agriculture. Notons les gisements de Ciply près de Mons, de la Hesbaye, de Nassau (Hesse), d'Algérie, du nord de la France, de Cambridge (Angleterre), de Smolensk (Russie).

On extrait annuellement des divers gisements d'Apatite et de Phosphorite plus de deux millions de tonnes de phosphates.

PYROMORPHITE. — (Du grec πῦρ = feu et μορφή = forme.) — Isomorphe avec l'Apatite; $a : c = 1 : 0,7362$. Formes dominantes : $a = \pi\{10\bar{1}0\}$, $p = \pi\{10\bar{1}1\}$, $c = \pi\{0001\}$ (fig. 603). Les faces de pyramide sont généralement striées horizontalement. Les cristaux sont ordinairement renflés à la partie médiane, de manière à affecter la forme de tonnelets; ils sont souvent réunis en groupements à axes parallèles qui forment une sorte d'escalier et se terminent par un seul individu. La P. se présente aussi en masses globuliformes, aciculaires ou compactes. D = 3 ½ à 4; P.S. = 6,9 à 7. La couleur de la P. varie du vert au brun; elle est rarement jaune; éclat résino-adamantin. Double réfraction —. C. ch. : $Pb_5Cl(PO_4)_3$. Fond facilement sur le charbon en un globule qui prend une forme polyédrique par refroidissement (de là le nom du minéral), et donne une aréole jaune; avec la soude elle se réduit en un bouton de plomb. Donne un sublimé blanc de chlorure de plomb dans le matras. Soluble dans l'acide nitrique.

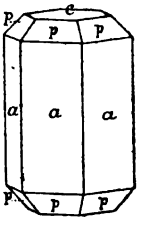


Fig. 603.

La P. s'est formée dans les parties supérieures des gîtes plombifères par décomposition de la Galène sous l'action de substances en solution dans l'acide phosphorique. Les progrès de l'exploitation l'ont épuisée dans beaucoup de localités où on la trouvait autrefois. On rencontre de très beaux cristaux de P. dans les mines de Nassau, aux environs d'Ems, à Berncastel, à Phenixville (Pensylvanie), dans les Lead-hills (Ecosse), à Beresowsk (Oural), etc.

Mimétèse. — (Du grec μιμητής = qui imite). — Isomorphe avec l'Apatite; $a : c = 1 : 0,7276$; les cristaux présentent les formes $a = \pi\{10\bar{1}0\}$, $p = \pi\{10\bar{1}1\}$, $c = \pi\{0001\}$. Quelquefois les cristaux sont en forme de tonnelets; on rencontre aussi la M. en masses réniformes, mamelonnées ou terreuses. Clivage distinct suivant $p = \pi\{10\bar{1}1\}$; D. = 3 ½ à 4; P. S. = 7,2. La M. est jaune de miel ou jaune-

verdâtre. Optiquement —. C. ch. : $Pb_5Cl(AsO_4)_5$. Facilement fusible, donne un sublimé blanc dans le tube fermé; se réduit sur le charbon en un globule de plomb en dégageant une odeur aliacée. Soluble dans l'acide nitrique.

La M. est plus rare que la Pyromorphite, mais présente les mêmes conditions de gisement; Przibram (Bohême), Johangeorgenstadt (Saxe), Zacatecas (Mexique), Phenixville (Pensylvanie), Badenweiler (Bade), Drygill (Cumberland), etc. Elle passe à la Pyromorphite. Les variétés riches en acide phosphorique sont désignées sous le nom de *Campylite*.

Vanadinite. Isomorphe avec l'Apatite; $a : c = 1 : 0,4122$. Se présente en petits cristaux hexagonaux offrant les mêmes formes que la Mimétèse, ou en cristaux groupés parallèlement et en agrégats mamelonnés à structure bacillaire ou fibreuse. D. = 3; P. S. = 6,3 à 7,2. La V. est jaune ou brune, rarement rouge; éclat vitreux; optiquement —. C. ch. : $Pb_5Cl(VO_4)_5$. Sur le charbon elle décrépite et fond en s'entourant d'un enduit jaune; donne dans l'acide chlorhydrique une solution verte. Quelques variétés contiennent une quantité plus ou moins grande d'arsenic remplaçant le vanadium (*Endlichite*).

Les plus beaux cristaux, de couleur rouge, proviennent des filons plombifères de l'Yuma C^y dans l'Arizona; on la trouve aussi à Kappel (Carinthie), à Beresowsk (Oural), au Mexique, etc.

Olivénite. — Rhombique; $a : b : c = 0,6726 : 1 : 0,9396$; se présente en cristaux prismatiques ou aciculaires, en agrégats mamelonnés ou réniformes à structure fibreuse ou terreuse. D. = 3; P. S. = 4,2 à 4,6. Eclat vitreux; vert-poireau, vert-olive ou vert-noirâtre. Optiquement +. C. ch. $(Cu.OH)\,CuAsO_4$; fond facilement en une perle qui cristallise en aiguilles brun-noirâtre lorsqu'elle se refroidit; se réduit avec la soude en un bouton de cuivre; soluble dans les acides et dans l'ammoniaque. L'O. se trouve surtout dans les filons stannifères; on la rencontre à Redruth (Cornouailles), à Zinnwald (Bohême), à Nischne Tagislk, etc.

Adamine. — Isomorphe avec l'Olivénite; se présente en agrégats finement grenus, en petits cristaux assemblés, ou en croûtes. Clivage prismatique. D. = 3 ½; P. S. = 4,3. Eclat vitreux; jaune, violette ou rose; translucide; optiquement +. C. ch. : $(Zn.OH)\,ZnAsO_4$. On trouve l'A. au Cap Garonne près d'Hyères en France, dans les filons argentifères de Chañarcillo (Chili), et dans la Calamine à Laurium (Grèce).

La **Herderite** $Be(OH, Fl)\,CaPO_4$, la **Libethenite** $(Cu.OH)\,CuPO_4$ et la **Descloizite** $(Pb.OH)\,(Pb, Zn)\,VO_4$ sont isomorphes avec l'Olivenite et l'Adamine.

Wagnérite. — Monoclinique; cristaux prismatiques striés verticalement, parfois très riches en facettes. D. = 5 à 5 ½; P.S. = 3,1. Jaune pâle, jaune de miel ou rose pâle; éclat vitro-gras; translucide ou transparente. C.ch. : $(Mg.Fl)\,MgPO_4$; fond difficilement en un verre gris verdâtre; soluble à chaud dans les acides nitrique et sulfurique. On trouve la W. dans des veinules de Quartz à Werfen (Salzbourg) et dans les filons d'Apatite de Kjörrestad près de Bamle (Norvège).

Phosphorochalcite. — Se présente en agrégats mamelonnés ou réniformes à structure fibreuse ou bacillaire. D. = 5; P.S. = 4,1 à 4,3. Eclat vitro-gras; vert pistache ou vert noirâtre foncé; Optiquement —. C. ch. : $(Cu.OH)_2\,PO_4$; donne de l'eau dans le matras, fond et se réduit facilement en un bouton de cuivre. Soluble

dans l'acide nitrique. Elle se trouve dans des filons cuprifères associée à la Malachite (Rheinbreitbach, Nischne Tagilsk, etc.).

Clinoclase. — $(Cu.OH)_5 AsO_4$. Monoclinique; cristaux prismatiques allongés; clivage suivant (001). La C. est vert bleuâtre; on la trouve en Cornouailles et à Saïda (Saxe).

Lazulite. — Monoclinique; cristaux pyramidaux (fig. 254) ou tabulaires. Clivage suivant $\{110\}$. D. = 5 à 6; P.S. = 3,12; éclat vitreux: bleu indigo ou bleu pâle. C. ch. : $(Mg, Fe)(Al.OH)_2(PO_4)_2$. Infusible, donne de l'eau dans le tube fermé et se décolore. On la trouve en beaux cristaux dans un Quartzite à Graves Mt. (Etat de Georgie) et dans des filons quartzifères à Werfen (Salzbourg); en agrégats compacts à Krieglach (Styrie).

Niobite. — Rhombique; $a : b : c = 0,8304 : 1 : 0,8732$. Beaux cristaux prismatiques ou tabulaires. D. = 6; P.S. = 5,37 à 6,39; noir-brunâtre ou noir de fer, rayure rouge cerise, quelquefois brun-rougeâtre ou noire; éclat métalloadamantin. C. ch. : $(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2 O_6$. Infusible, inattaquable par les acides. La N. se trouve en cristaux enchâssés dans la Cryolite à Ivigtut (Groenland) et dans le Granite à Chanteloube (Haute Vienne), à Bodenmais (Bavière), en Finlande, près de Miask dans les Monts Ilmen, à Haddam (Connecticut), etc.

La **Tantalite** dont la composition chimique est identique à celle de la Niobite, avec prédominance toutefois du tantale, est isomorphe avec elle; la **Mossite** et la **Tapiolite** ont respectivement la même composition que la Niobite et la Tantalite, mais sont tétragonales; elles sont également isomorphes entre elles.

Fergusonite. — Appartient à l'hémiédrie pyramidale du système tétragonal; $a : c = 1 : 1,464$. Elle se présente en prismes trapus ou en pyramides très aiguës. D. = 5 1/2 à 6; P.S. = 5,6. Eclat gras ou semi métallique; noir brunâtre ou noir de poix; rayure brun clair. Opaque ou translucide. C. ch. : $Y(Nb, Ta)O_4$; contient quelquefois des quantités variables de fer, de cerium, d'erbium, de calcium remplaçant l'yttrium. Cap Farewell (Groenland), Ytterby (Suède), Schreiberhau (Riesengebirge).

Groupe B. — Phosphates etc. hydratés.

Struvite. — Rhombique, hémimorphe; $a : b : c = 0,5667 : 1 : 0,9121$. Formes ordinaires $d = \epsilon\{101\}$, $m = \epsilon\{10\bar{3}\}$, $c = \epsilon\{00\bar{1}\}$, $v = \epsilon\{011\}$, $r = \epsilon\{401\}$, $b = \epsilon\{010\}$. (fig. 604). Clivage parfait suivant (001), moins parfait suivant (010); D. = 1 1/2 à 2; P. S. = 1,66 à 1,75. La S. est incolore, jaunâtre ou brun pâle, à éclat vitreux, opaque ou translucide. P.A. ∥ (001); $B_a \perp (100)$. C. ch. : $(NH_4)MgPO_4 . 6H_2O$.

On la trouve dans le guano (Grottes de Skipton près de Ballarat en Australie, côtes d'Afrique etc.), sur les parois des fosses à fumier, etc.

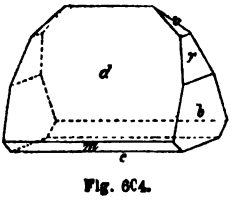


Fig. 604.

VIVIANITE. — Monoclinique. $a : b : c : = 0,7498 : 1 : 0,7017 : \beta = 104°26'$. Cristaux prismatiques suivant l'axe vertical; formes ordinaires :

$a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $m = \{110\}$, $n = \{012\}$, (fig. 605). Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 71°58'$; $(012) : (0\bar{1}2) = 37°30'$; les pyramides $\{111\}$ et $\{\bar{1}11\}$ sont également fréquentes. La V. se présente généralement en agrégats sphériques ou réniformes, à structure rayonnante ou fibreuse, en imprégnations, en masses terreuses, etc. Clivage très parfait suivant (010). D. = 2; P.S. = 2,6 à 2,7. Ce minéral est incolore, mais par l'exposition à l'air il se colore rapidement en bleu indigo, vert bleuâtre ou vert noirâtre. La V. présente un éclat nacré sur les faces de clivage; elle est transparente en lames minces. Biréfringence énergique +. P.A. ⊥ (010); B_e ⊥ (010). Pléochroïque. C. ch. : $Fe_3(PO_4)_2.8H_2O$. Donne de l'eau dans le tube fermé; au Ch. colore la flamme en vert bleuâtre et fond en une perle grise magnétique. Soluble dans les acides chlorhydrique et nitrique.

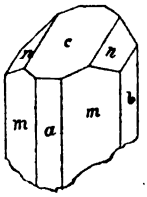


Fig. 605.

La V. est très souvent un produit de décomposition de sulfures ferrifères (Bodenmais en Bavière, Tavistock dans le Devonshire, etc.); on la trouve en beaux cristaux dans les Schistes argileux de Ste Agnès (Cornouailles); dans les produits d'incendies de houillères (Commentry et Cransac en France); dans les vacuoles d'ossements fossiles (Laibach); en masses rayonnées à Anglar (France); aux Mullica-Hills (New Jersey); en masses terreuses dans certaines tourbières et marécages.

Erythrine. — Isomorphe avec la Vivianite; $a : b : c = 0,7937 : 1 : 0,7356$. $\beta = 105°9'$. Formes ordinaires : $\{010\}$, $\{100\}$, $\{001\}$. L'E. se présente en petits cristaux aciculaires groupés en faisceaux ou en masses étoilées. Clivage très parfait suivant (010); D. = 2 ½; P. S. = 2,9 à 3,0. Couleur rouge kermès ou rose fleur de pêcher. Transparente; Optiquement +; P. A. ⊥ (010); B_e ⊥ (010). C. ch. : $Co_3(AsO_4)_2.8H_2O$. L'E. donne de l'eau dans le matras; sur le charbon elle dégage des vapeurs d'arsenic et fond en une perle grise; elle donne une solution rouge avec les acides. Ce minéral est un produit de décomposition des sulfures cobaltifères (Smaltine, Cobaltine, etc.); on le trouve à Schneeberg (Saxe), Riechelsdorf et Bieber (Hesse), Allemont (France), etc.

L'**Anabergite** $Ni_3(AsO_4)_2.8H_2O$, la **Symplesite** $Fe_3(AsO_4)_2.8H_2O$, la **Hörnesite** $Mg_3(AsO_4)_2.8H_2O$, et la **Bobierrite** $Mg_3(PO_4)_2.8H_2O$ sont probablement isomorphes avec la Vivianite et l'Erythrine.

Scorodite. — (Du grec σκόροδον = ail) — Rhombique, $a : b : c = 0,8687 : 1 : 0,9586$. Petits cristaux pyramidaux ou prismatiques, groupés en druses. Les formes les plus fréquentes sont : $a = \{100\}$, $n = \{120\}$, $p = \{111\}$, (fig. 606); on observe souvent, en outre, les formes $\{010\}$ et $\{201\}$. Clivage distinct suivant (100); D. = 3 ½ à 4; P. S. = 3,1 à 3,2. La S. est vert pâle, vert noirâtre ou vert bleuâtre, rarement bleue, rouge ou brune; translucide, à éclat vitreux; Optiquement +. P. A. ∥ (100). Ba ⊥ (001). C. ch. : $FeAsO_4.2H_2O$. Donne de l'eau dans le tube fermé, fond sur le charbon en une scorie grise magnétique, avec production d'une odeur d'ail. Facile-

lement soluble dans l'acide chlorhydrique. On trouve la S. en cristaux ou en agrégats à structure bacillaire, fibreuse ou terreuse, dans des cavités et des fissures de la Limonite. Schwarzenberg en Saxe, Dernbach dans le Duché de Nassau, aux environs de Limoges, en Cornouailles, etc.

La **Strengite** $FePO_4.2H_2O$ est isomorphe avec la Scorodite.

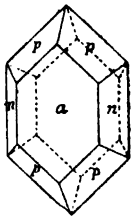


Fig. 606.

Pharmacolite. — (Du grec φαρμακόν = poison). — Monoclinique; $a : b : c = 0,6137 : 1 : 0,3622$, $\beta = 96°47'$. Formes dominantes : {010}, {001}, {110}, {111}. Petits cristaux prismatiques suivant l'axe de profil, ou capillaires, réunis en agrégats réniformes ou formant des incrustations fibreuses. Clivage très parfait suivant (010). D. = 2 ½; P.S. = 2,7. Incolore ou blanche, translucide. C. ch. : $HCaAsO_4.2H_2O$. Donne de l'eau dans le tube fermé, fond sur le charbon en émettant une odeur d'ail. Soluble dans les acides. La P. est un produit de décomposition de minéraux arsénifères. Andreasberg (Hartz), Wittichen (Forêt Noire), Markirch (Vosges), Joachimsthal (Bohême), etc.

Pharmacosidérite. — Cubique, tétraédrique, formes ordinaires $c = \infty\{100\}$, $t = \infty\{111\}$. (fig. 607). Cristaux très petits, réunis en druses. Clivage imparfait suivant {100}. D. = 2 ½; P. S. = 3. Eclat gras passant à l'éclat adamantin. Jaune de miel, vert pâle ou brune; translucide. C. ch. : $Fe(Fe.OH)_5(AsO_4)_5.6H_2O$. Dans le matras elle perd de l'eau, s'exfolie et prend une teinte rouge; sur le charbon elle dégage une odeur d'ail très prononcée, et fond en une scorie magnétique d'un gris d'acier; elle est facilement soluble dans les acides. On trouve la P. dans la Limonite. Graul près de Schwarzenberg en Saxe, Cornouailles, Victoria (Australie), etc.

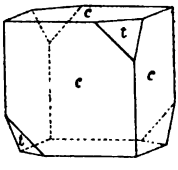


Fig. 607.

Wavellite. — Rhombique, $a : b : c = 0,5048 : 1 : 0,3750$. Formes ordinaires {110}, {010}, {101}. Petits cristaux aciculaires réunis en agrégats sphériques ou réniformes à structure fibro-radiée. Clivages suivant {110} et {101}. D. = 3 ½; P.S. = 2,3 à 2,5. Incolore, jaunâtre, grisâtre, quelquefois rouge ou bleue; éclat vitreux; translucide. Optiquement +, P.A. ∥ (100), $B_a \perp (001)$. C. ch. : $(Al.OH)_3(PO_4)_2.5H_2O$. Infusible, blanchit au Ch. Soluble dans les acides et dans la potasse caustique. La W. se présente dans les fissures de diverses roches; elle est souvent associée à d'autres phosphates et aux minerais de fer. Amberg (Bavière), Staffel (Nassau), Montebras (France), Steamboat (Pensylvanie).

TURQUOISE. — Amorphe, se présente en masses compactes, globulaires ou stalactitiques, en imprégnations, en enduits et en fragments roulés. D. = 6; P.S. = 2.62 à 2,8. La T. est bleue ou vert-pomme; opaque ou translucide sur les bords. C. ch. $AlPO_4.Al(OH)_3.H_2O$, avec des traces de cuivre. Donne de l'eau dans le matras, décrépite vivement et se colore en noir et en brun. Infusible; soluble dans les acides.

On rencontre la T. dans les fissures des Schistes siliceux (Oelsnitz en Saxe,

Jordansmühl en Silésie, etc.), dans un Trachyte décomposé à Waaden près de Nischapur (Perse), dans les fissures d'un Pophyre des monts Sinaï.

La T. est employée en bijouterie; les belles pierres, surtout celles de Waaden, sont très recherchées, et leur valeur dépasse quelquefois 60 francs le carat; mais une partie des T. du commerce ne sont autre chose que de l'**Odontolite**, ivoire fossile coloré en bleu par du cuivre.

Childrénite. — Rhombique, $a : b : c = 0,7399 ; 1 : 0,4756$. Cristaux pyramidaux ou tabulaires, isolés ou réunis en incrustations. D. = 4 ½ à 5; P. S. = 3,2. Blanc-jaunâtre, jaune, brune ou noire; éclat résino-vitreux; translucide. C. ch. $(Fe, Mn)(Al.2OH)PO_4.H_2O$; difficilement soluble dans l'acide chlorhydrique. On la trouve à Tavistock (Devonshire), à St. Austell (Cornouailles); dans de l'Apatite à Hebron (Maine).

L'**Eosphorite** $(Mn, Fe)(Al.2OH)PO_4.H_2O$ est isomorphe avec la Childrénite.

Uranite. — Rhombique; $a : b : c = 0,9876 : 1 : 2,8530$. Cristaux tabulaires suivant {001}, isolés ou réunis en druses. Clivage très parfait suivant (001). D. = 1 à 2; P. S. = 3 à 3,2. Jaune de soufre ou vert-serin; éclat nacré sur les faces {001}; translucide; optiquement —; P. A. ∥ (010), $Ba \perp (001)$. C. ch.: $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2.8H_2O$. Donne de l'eau dans le tube fermé, fond facilement sur le charbon; donne une solution jaune dans l'acide nitrique. On la trouve dans des filons à Johangeorgenstadt et à Schneeberg en Saxe, dans un Granite près d'Autun (France), etc.

L'**Uranospinite** $Ca(UO_2)_2(AsO_4)_2.8H_2O$ et l'**Uranocircite** $Ba(UO_2)_2(PO_4)_2.8H_2O$ sont isomorphes avec l'Uranite.

Chalcolite. — (Du grec χαλκός = cuivre.) — Tétragonale, $a : c = 1 : 2,9382$. Cristaux tabulaires suivant {001}, quelquefois très minces, implantés isolément ou réunis en druses. Clivage très parfait suivant (001). D. = 2 à 2 ½; P. S. = 3,5 Vert d'émeraude ou vert d'herbe; éclat nacré sur les faces de {001}; translucide. Optiquement —. C. ch.: $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2.8H_2O$; fond facilement, colore la flamme en vert, se réduit avec la soude en un bouton de cuivre; donne avec l'acide nitrique une solution vert-jaunâtre. On trouve la C. à Johangeorgenstadt (Saxe), Callington et Redruth (Cornouailles), St-Yrieux près de Limoges.

La **Zeunérite** $Ca(UO_2)_2(AsO_4)_2.8H_2O$ est isomorphe avec la Chalcolite.

IXe CLASSE. — SILICATES, TITANATES, ZIRCONATES, THORATES, STANNATES.

Cette classe comprend, en premier lieu, les sels des acides siliciques dont la formule générale est, $mH_4SiO_4 - nH_2O = H_{4m-2n}Si_mO_{4m-n}$. *Ces acides sont l'acide orthosilicique* H_4SiO_4 ($m = 1, n = 0$), *l'acide métasilicique* H_2SiO_3 ($m = 1, n = 1$), *l'acide di-orthosilicique* $H_6Si_2O_7$ ($m = 2, n = 1$), *l'acide di-métasilicique* $H_2Si_2O_5$ ($m = 2, n = 3$), *l'acide trisilicique* $H_4Si_3O_8$ ($m = 3, n = 4$), *l'acide pentasilicique* $H_4Si_5O_{12}$ ($m = 5, n = 8$). *En dehors de ces silicates il en existe d'autres qui ne*

se caractérisent pas d'une façon directe comme sels de ces acides; on se contente en général de donner la formule empirique de ces derniers silicates. — Les Titanates, Zirconates, Thorates et Stannates constituent des minéraux très rares; ce sont les sels d'acides dont la constitution est analogue à celle des acides siliciques.

La division en groupes des silicates, etc. que nous avons adoptée, est basée principalement sur la composition chimique, mais tient compte en même temps de la parenté naturelle des divers minéraux; de sorte que les minéraux d'une même famille se trouvent toujours réunis dans un même groupe.

Groupe A. — Silicates basiques.

Sapphirine. — Monoclinique; se présente en grains aplatis ou en masses finement grenues; D. = 7 ½; P.S. = 3 ½. Bleue ou vert-bleuâtre ressemblant au Saphyr. C. ch. : $5MgO.6Al_2O_3.2SiO_2$; infusible. On la trouve dans un Micaschiste à Fizkernäs (Groenland).

STAUROTIDE. — (Du grec σταυρός = croix.) — Rhombique, $a : b : c = 0,4803 : 1 : 0,6761$. Les formes ordinaires sont : $m = \{110\}$; $b = \{010\}$; $r = \{101\}$; $c = \{001\}$ (fig. 608). Angles : (110) : $(1\bar{1}0) = 51°18'$; (101) : $(\bar{1}01) = 109°14'$. Les cristaux sont souvent maclés suivant la face (032) (fig. 609) ou suivant la face (232) (fig. 610). Clivage parfait sui-

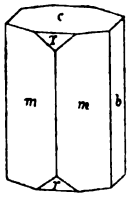


Fig. 608.

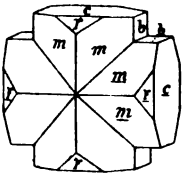


Fig. 609.

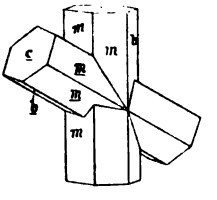


Fig. 610.

Fig. 611.

vant $b = \{010\}$; imparfait suivant $m = \{110\}$. D. = 7 à 7 ½; P. S. = 3,4 à 3,8. Transparente ou opaque; éclat vitreux ou résineux. Couleur rouge foncé, brun rougeâtre, brun noirâtre. Pléochroïque dans les teintes jaune d'or. Optiquement +. P. A. ∥ (100); $B_a \perp (001)$; $n_\alpha = 1,736$ $n_\beta = 1,741$, $n_\gamma = 1.746$ (rayons jaunes). $2V_a = 88°30'$ à 90°.

C. ch. : $(Al.OH)(AlO)_4\ Fe(SiO_4)_2$ (30,7 % SiO_2). Infusible, inattaquable par les acides, même par l'acide fluorhydrique. La S. renferme de nombreuses inclusions de Quartz ou de matières charbonneuses. La figure 611 représente d'après M. Lacroix, une coupe mince de macle de S. faite parallèlement à (100) et montrant les inclusions de Quartz.

On trouve la S. dans des Gneiss et des Micaschistes; Bretagne, St-Gothard, Tyrol, Aschaffenbourg (Bavière), Goldenstein (Moravie), Fannin Cy. (Georgie) etc.; elle se présente en beaux cristaux dans le *Schiste à Paragonite* de Monte Campione (Tessin). La S. est souvent produite par action métamorphique du Granite. On rencontre aussi des cristaux roulés de S. dans des alluvions (Sanarka dans le gouvernement d'Orenbourg).

CALAMINE. — (Du latin *calamus* = roseau.) — Rhombique, hémimorphe; $a : b : c = 0,7835 : 1 : 0,4778$. Formes ordinaires : $a = \varepsilon\{100\}$, $b = \varepsilon\{010\}$, $c = \varepsilon\{001\}$, $m = \varepsilon\{110\}$, $t = \varepsilon\{301\}$, $i = \varepsilon\{031\}$, $d = \varepsilon\{101\}$, $n = \varepsilon\{011\}$, $s = \varepsilon\{12\bar{1}\}$; les cristaux sont tabulaires suivant $b = \varepsilon\{010\}$, ou prismatiques et trapus suivant l'axe vertical (fig. 612 et 613). Angles : (110), $(1\bar{1}0) = 76°10'$; (011) : $(0\bar{1}1) = 51°5'$; (301) : (100) = 28°40'; (031) : (010) = 34°54', $(12\bar{1}) : (1\bar{2}1) = 78°25'$. Il existe des macles

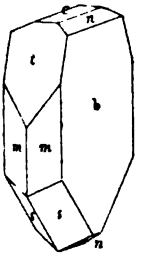


Fig. 612.

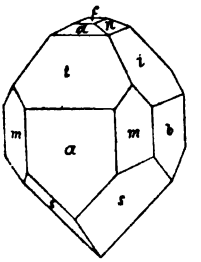


Fig. 613.

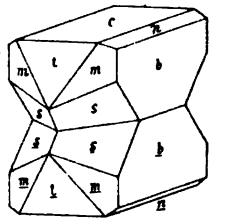


Fig. 614.

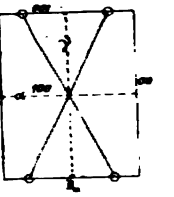


Fig. 615.

suivant (001), (fig. 614). Clivage parfait suivant $m = \varepsilon\{110\}$, assez parfait suivant $d = \varepsilon\{101\}$. D. = 5. P.S. = 3,35 à 3,50. Eclat vitreux ou adamantin, quelquefois nacré sur les faces $b = \varepsilon\{010\}$. La C. est généralement transparente, incolore, grise, jaune, verte, bleu-pâle ou brune. Optiquement +. fortement biréfringente; P. A. ∥ (100); B$_a$ ⊥ (001). $n_\alpha = 1,6136$, $n_\beta = 1,6170$, $n_\gamma = 1,6360$. $2V_a = 46°9'$ (rayons jaunes); (voir fig. 615); $\rho > \upsilon$. Pyroélectrique : sous l'influence de la chaleur la partie supérieure du cristal, celle qui présente les formes *t* et *i*, prend l'électricité positive (voir page 161).

C. ch. $(Zn.OH)_2SiO_3$, (67,5 °/₀ ZnO; 25 °/₀ SiO_2; 7,5 °/₀ H_2O). Infusible, décrépite et se gonfle au Ch. Soluble dans les acides avec dépôt de silice gélatineuse. Chauffée avec le nitrate de cobalt, la C. devient bleue et, par places, verte. Dans le tube fermé elle blanchit et dégage de l'eau. Les figures de corrosion qu'on observe sur les faces {010} sont décrites page 182.

La C. est un minerai de zinc très important; elle s'est formée par la

décomposition de la Blende; ses gisements sont les mêmes que ceux de la Smithsonite. On la trouve à la Vieille Montagne près d'Aix-la-Chapelle, à Iserlohn (Westphalie), à Raibl et à Bleiberg (Carinthie), en Hongrie, dans le Derbyshire, à Phenixville (Pensylvanie), en Virginie, etc.

ANDALOUSITE. — Rhombique, $a : b : c = 0,9856 : 1 : 0,7020$. Formes ordinaires : $m = \{110\}$, $c = \{001\}$, $r = \{101\}$. Cristaux prismatiques suivant $m = \{110\}$, (fig. 616). Angles : $(101) : (\bar{1}01) = 70°56'$, $(110) : (1\bar{1}0) = 89'10'$; l'angle du prisme est par conséquent presque égal à 90°. L'A. se présente aussi en masses bacillaires, fibro-radiées ou grenues. Clivage assez parfait suivant $m = \{110\}$; D. = 7 à 7 ½. P.S. = 3,1 à 3,16. Eclat vitreux; gris-verdâtre ou gris-rougeâtre, rose, rouge-chair, quelquefois violette. Translucide ou opaque, rarement transparente. P.A. ∥ (010); B_a ⊥ (001). Optiquement —. (Voir fig. 617). $2V_a = 84$ à 87°; $n_\alpha = 1,632$, $n_\beta = 1,638$, $n_\gamma = 1,643$ (rayons jaunes). Pléochroïque : vert-olive suivant γ et suivant β, variant du rouge de sang au rose suivant α.

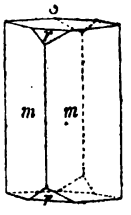


Fig. 616.

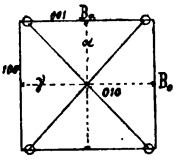


Fig. 617.

C. ch. : $Al(AlO)SiO_4$ ou $Al_2O_3.SiO_2$, (63 °/₀ Al_2O_3, 37 °/₀ SiO_2). Infusible; chauffée avec le nitrate de cobalt, elle donne une masse bleue. Inattaquable par les acides.

On rencontre rarement des cristaux transparents, inaltérés; le plus souvent ils sont transformés en un agrégat laminaire de Disthène ou de Mica. On trouve l'A. dans les roches de contact riches en alumine (Schistes argileux, etc.), dans les Micaschistes, dans les Gneiss, et souvent en grands cristaux implantés dans les filons de Pegmatite qui traversent certains Gneiss. On la rencontre en Andalousie, dans le Fichtelgebirge, en Bavière, en Tyrol, en Finlande, dans l'Oural, au Brésil, etc.

La **Chiastolithe** ou Macle est une variété de l'Andalousite; D = 5 à 5 ½; P.S. = 2,9 à 3,1; ce minéral forme des prismes allongés, jaunes, rose-pâle ou noirs, qui présentent à l'intérieur un canal dont la section affecte souvent la forme d'une croix ou de deux pyramides aiguës se joignant au milieu du prisme qui les renferme; ce canal est rempli par la substance de la roche dans laquelle la Ch. s'est formée. La figure 618 représente un cristal de Ch. sectionné en plusieurs fragments pour montrer la forme du canal intérieur, et la figure 619 reproduit,

d'après M. Lacroix, l'aspect d'une lame mince vue au microscope; outre les cristaux de Ch. on y observe du Quartz et du Mica. La Ch. est fréquente dans

Fig. 618.

Fig. 619.

les Schistes métamorphiques au contact du Granite; on la trouve à Gefrees (Fichtelgebirge), en Saxe, en Bretagne, dans les Pyrénées, en Algérie, etc.

Sillimanite. — Rhombique; se présente en cristaux bacillaires et en masses finement fibreuses. Angles (110) : $(1\bar{1}0) = 69°$. Clivage parfait suivant (100). D. = 6 à 7; P.S. = 3,24. Incolore, gris-jaunâtre ou brun de girofle. Eclat gras, vitreux sur les faces de clivage; transparente ou translucide. Optiquement +. P.A. ∥ (100); $B_e \perp (001)$; $n_\alpha = 1,659$; $n_\beta = 1,661$; $n = 1,680$. $2V_e = 26°$. C. ch.: $Al(AlO)SiO_4$, identique par conséquent à celle de l'Andalousite. Infusible, inattaquable par les acides. La S. se trouve, associée à l'Andalousite, dans les filons de Pegmatite ou en nodules arrondis associée au Quartz dans les Gneiss et les Micaschistes. Connecticut, Morvan (France), Bretagne, Bodenmais (Bavière), Tyrol, Saxe, etc.

DISTHÈNE. — (Du grec δίς = deux et σθένος = dureté.) — Triclinique; $a : b : c = 0,89912 : 1 : 0,69677$; $\alpha = 90°23'$, $\beta = 100°18'$, $\gamma = 106°1'$.

Fig. 620.

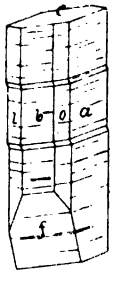


Fig. 621.

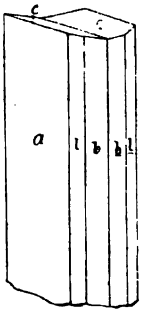


Fig. 622.

Formes dominantes $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $o = \{1\bar{1}0\}$, $l = \{110\}$, $f = \{02\bar{1}\}$; cristaux prismatiques suivant l'axe vertical et aplatis suivant a ou b (fig. 620 et 621). Angles : (100) : (010) = 73°39'; (100): (110) = 34°13'; (100) : $(1\bar{1}0)$ = 48°30'; (010) : (001) = 86°36'. Les macles les plus fréquentes ont pour plan de macle la face a (fig. 622), c, ou une face perpendiculaire à l'axe b ou à l'axe c. Les cristaux montrent souvent des lamelles maclées suivant $c = \{001\}$; (fig. 621) et suivant $a = \{100\}$; ces lamelles se manifestent sous forme de stries, soit sur les faces a, b, o, l, soit sur les faces c et b. Quelque-

fois les cristaux sont déformés par torsion : ils sont gauchis, séparés en fragments, les plans de séparation et les lamelles maclées sont alors particulièrement fréquents, comme on le voit dans la figure 623 qui représente une lame mince de D. en lumière polarisée parallèle.

Clivage très parfait suivant (100), parfait suivant (010). La dureté est très variable suivant les faces et les directions qu'on envisage : elle est maxima

Fig. 623.

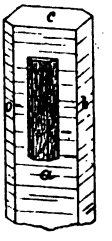


Fig. 624.

sur *a* et minima sur *o*; pour la face *a* on obtient D. = 5 lorsqu'on examine la dureté parallèlement à l'arête *a* : *b*, et D. = 7 dans le sens perpendiculaire à cette arête. P. S. = 3,5 à 3,7. Eclat vitreux, nacré sur les faces *a*; transparent ou translucide; incolore, blanc. bleu, vert, jaune, rouge, gris ou noirâtre. Optiquement —; P. A. et B_a presque ⊥ (100); $n_\alpha = 1,712$, $n_\beta = 1,720$, $n_\gamma = 1,728$; $2V_a = 82°$. Pléochroïque.

C. ch : $(AlO)_2SiO_5$ ou $Al_2O_3 . SiO_2$; donne les mêmes réactions que l'Andalousite, mais résiste beaucoup mieux à la décomposition naturelle.

On trouve le D. dans des Micaschistes, des Amphibolites, des Eclogites et des Granulites. Greiner (Tyrol), Pontivy (Morbihan), Petschau (Bohême),etc. De beaux cristaux se rencontrent dans le *Schiste à Paragonite* du Monte Campione près de Faido (Tessin); ils sont ordinairement accolés à des cristaux de Staurotide : dans cette association les axes verticaux des deux cristaux sont parallèles entre eux, et la face *a* du D. est parallèle à la face *b* = {010} de la Staurotide (fig. 624). Le D. forme des gîtes très puissants à Horrsjöberg (Wermland). On observe aussi ce minéral en masses bacillaires ou fibreuses (*Rhaetizite*) et en grains roulés dans les alluvions aurifères.

Remarquons que l'Andalousite, la Sillimanite et le Disthène offrent la même composition centésimale.

TOPAZE. — (Du grec Τόπαζος, nom d'une île de la Mer Rouge.) — Rhombique; *a* : *b* : *c* = 0,5285 : 1 : 0,4768. Formes ordinaires : M = {110}, *l* = {120}, *g* = {130}, *c* = {001}, *f* = {021}, *y* = {041}, *u* = {111}, *i* = {223}, (fig. 625 et 626). Cristaux prismatiques suivant l'axe vertical;

les faces des prismes verticaux sont généralement striées. Angles : (110) : $(1\bar{1}0)$ = 55°43′; (120) : $(1\bar{2}0)$ = 93°11′; (021) : $(0\bar{2}1)$ = 87°18′; (001) : (041) = 62°20; (111) : $(1\bar{1}1)$ = 39°0′. Les cristaux de T. sont souvent terminés différemment aux deux extrémités de l'axe vertical, sans donner lieu toutefois à un hémimorphisme réel.

Clivage parfait suivant (001) ; D. = 8; P. S. = 3,5 à 3,7. La T. est transparente, incolore, souvent jaune de vin, jaune de miel, verte, rouge, rose, bleu-violet. Optiquement +. P. A. ‖ (010); B_α ⊥ (001), (voir figure 627); n_α = 1,6133, n_β = 1,6160 n_γ = 1,6225; $2V_\alpha$ = 65°30′ (rayons jaunes); les indices de réfraction et l'angle des axes optiques sont variables suivant les localités d'où proviennent les cristaux, et peuvent même être inégaux pour les différentes parties d'un même cristal. La T. s'électrise par le frottement et par la caléfaction, en présentant quelquefois les deux électricités.

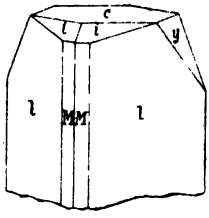


Fig. 625.

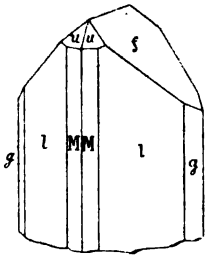


Fig. 626.

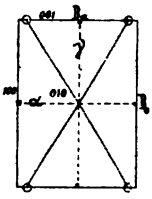


Fig. 627.

C. ch. : $(Fl, OH)_2Al_2SiO_4$. Infusible, soluble dans le sel de phosphore en laissant un squelette de silice, inattaquable par l'acide chlorhydrique; la T. réduite en poudre dégage un peu d'acide fluorhydrique quand on la chauffe avec de l'acide sulfurique concentré. Fortement chauffée elle s'écaille, dégage du fluorure de silicium, devient blanche et opaque; il se forme alors des aiguilles de Sillimanite.

La T. est ordinairement associée à la Fluorine, à l'Apatite et à la Tourmaline, et se rencontre surtout dans les Granites stannifères et dans les filons de Pegmatite qui traversent les Granites; on l'observe aussi dans les Gneiss et les Granulites. Ile d'Elbe; Schneckenstein (Saxe); Alabaschka, Monts Ilmen (Oural); Monts Adun-Tschilon (près de Nertschinsk); Mourne Mountains (Irlande); Mount Bischoff (Tasmanie), etc. On la trouve dans les géodes de Trachytes quartzifères à Nathrop (Colorado) ainsi qu'à San Luis Potosi et à Durango (Mexique). On rencontre également de beaux cristaux de T. dans certaines alluvions (Ceylan, Brésil, Rivière Sanarka dans le gouvernement d'Orenbourg, etc.). La T. se présente quelquefois en grandes masses

compactes (*Pyrophysalite* de Finbo près de Fahlun), ou en masses bacillaires (*Pycnite* d'Altenberg en Saxe, etc.).

Les cristaux de T. qui présentent de belles couleurs sont employés en bijouterie.

Datolithe. — Monoclinique; $a : b : c = 0,6326 : 1 : 0,6345$, $\beta = 90°9'$. Beaux cristaux implantés, ordinairement réunis en druses; ils sont souvent très riches en faces. Formes dominantes : {110}, {120}, {001}, {101}, {122}. La D. se présente aussi en agrégats grenus, fibreux ou compacts. D. = 5 à 5 ½; P. S. = 2,9 à 3. Eclat vitreux; translucide ou transparente. Optiquement —. P. A. ∥ (010). B_a presque ⊥ (001); $n_\alpha = 1,6260$, $n_\beta = 1,6535$, $n_\gamma = 1,6700$. $2V_a = 74°25'$ (rayons jaunes). C. ch. : $(B.OH)CaSiO_4$. Au Ch. elle colore la flamme en vert et fond en une perle limpide. Soluble dans l'acide chlorhydrique avec dépôt d'une gelée de silice. On trouve la D. dans les fissures et les géodes des roches éruptives basiques (Andreasberg au Hartz; Seisser Alpe; Bergenhill dans le New Jersey; Lac Supérieur, etc.), dans le gîte de Magnétite d'Arendal, dans une Serpentine à Toggiana (ancien duché de Modène), etc.

Euclase. — Isomorphe avec la Datolithe. C. ch. : $(Al.OH)BeSiO_4$. Clivage parfait suivant (010); D. = 7 ½; P. S. = 3,1. Eclat vitreux; transparente; incolore, verdâtre ou bleuâtre. On la trouve dans des Schistes cristallins et dans des alluvions. Boavista dans le District de Villarica (Brésil), Rauris (Salzbourg), rivière Sanarka (Oural), etc. L'E. est utilisée comme pierre fine.

Gadolinite. — Isomorphe avec la Datolithe. C. ch. : $Fe(Y.O)_2Be_2(SiO_4)_2$. Cristaux rares. D. = 6 à 7; P. S. = 4 à 4 ½. Noir de poix, poussière gris-verdâtre. Elle se trouve dans les Granites et les filons de Pegmatite qui les parcourent. Ile d'Hitterö (Norvège), Ytterby (Suède), Schreiberhau (Riesengebirge).

Homilite. — Isomorphe avec la Datolithe. C. ch. : $Fe(B.O)_2Ca_2(SiO_4)_2$. D. = 5 ½; P. S. = 3,8. Brun-noir. On la trouve à Stocköe près de Brevig (Norvège).

TOURMALINE. — (De *Turamali*, nom d'une localité de l'île de Ceylan.) — Appartient à l'hémimorphie rhomboédrique du système hexagonal; $a : c = 1 : 0,448$; ce rapport varie légèrement avec la composition du minéral. Formes ordinaires : $a = \varkappa\varepsilon\{01\bar{1}0\}$, $b = \varkappa\varepsilon\{11\bar{2}0\}$, $c = \varkappa\varepsilon\{0001\}$, $r = \varkappa\varepsilon\{01\bar{1}1\}$ et $\varkappa\varepsilon\{01\bar{1}\bar{1}\}$, $o = \varkappa\varepsilon\{02\bar{2}1\}$, $n = \varkappa\varepsilon\{01\bar{1}2\}$; les hémipyramides ditrigonales $u = \varkappa\varepsilon\{32\bar{5}1\}$, et $v = \varkappa\varepsilon\{21\bar{3}1\}$ s'observent fréquemment aussi. Angle : $(10\bar{1}1) : (0\bar{1}11) = 46°54'$ pour le rapport $a : c = 1 : 0,448$. Les cristaux sont plus ou moins allongés suivant l'axe vertical (fig. 628, 629 et 630); les faces des prismes verticaux sont ordinairement striées parallèlement à leur arrête de combinaison.

La T. se présente aussi en masses bacillaires, fibreuses ou grenues. Clivage très imparfait suivant *r* et *b*. D. = 7 à 7 ½. P. S. = 2,94 à 3,24. Incolore, verte, bleue, rose, rouge, brune ou noire. Les cristaux présentent quelquefois des zones différemment colorées. Eclat vitreux; transparente ou opaque. Optiquement —; biréfringence énergique, $n_\omega = 1,6366$; $n_\varepsilon = 1,6193$. Les indices varient un peu avec la composition du minéral. Les variétés

de teintes foncées sont fortement dichroïques : l'absorption pour le rayon ordinaire est beaucoup plus forte que pour le rayon extraordinaire; quand on enlève le Nicol supérieur du microscope à polarisation, on observe que les lames taillées parallèlement à l'axe vertical s'éteignent presque complètement dès que leur direction d'allongement *cc'* est perpendiculaire à la section principale nn' du Nicol inférieur (fig. 631). La T. est pyroélectrique; le

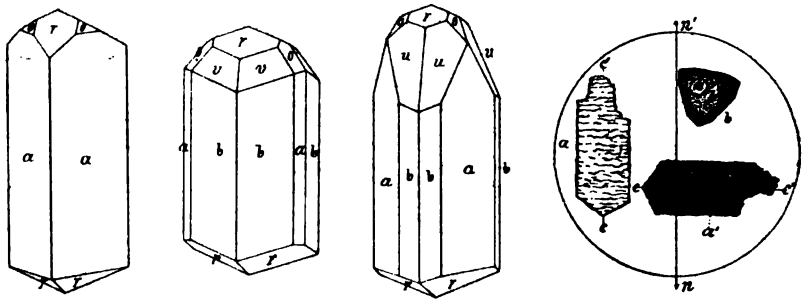


Fig. 628. Fig. 629. Fig. 630. Fig. 631.

pointement supérieur des cristaux représentés par les figures 628, 629 et 630 se charge d'électricité négative, sous l'influence d'une élévation de température, tandis que le pointement inférieur prend l'électricité positive; ce dernier pointement constitue donc le *pôle analogue*.

C. ch. compliquée et variable : $[H_2,Li_2,Na_2,Fe,Mg(AlO)_2]_3(AlO.BO)(SiO_4)_2$; contient souvent de petites quantités de titane, de manganèse, de calcium, de potassium, de fluor. Au Ch. elle se gonfle ordinairement et fond avec plus ou moins de difficulté; fondue avec le bisulfate de potassium et la Fluorine elle colore la flamme en vert. Inattaquable par l'acide chlorhydrique. facilement décomposée par l'acide sulfurique quand elle a été fondue au préalable.

La T. se trouve généralement dans des Schistes cristallins (Gneiss, Granulites, etc.), dans les Granites, surtout dans les Granites stannifères et les filons de Pegmatite qui les traversent, et dans les roches de contact des Granites. Pyrénées, Ile d'Elbe, Penig et Wolkenbourg (Saxe), Andreasberg (Hartz), Iekaterinbourg près d'Alabaschka (Oural), Snarum (Norvège), Cornouailles, Monroe (Connecticut), Gouverneur (New Jersey) etc. On l'observe aussi quelquefois dans la Dolomie (Campolungo dans le canton du Tessin; Binnenthal), dans certains gîtes cuprifères (Chili) et dans des gîtes de Magnétite à Arendal. A la suite de la décomposition de sa roche mère elle s'isole, et s'accumule dans les roches sédimentaires et les alluvions (Ceylan, Province de Minas Geraës au Brésil).

On peut distinguer trois variétés principales de T. — 1° les *T. lithinifères*, inco-

lores, vert-pâle ou rouges, exemptes de fer et de magnésium, contenant de 42 à 44 °/₀ d'alumine — 2° les *T. magnésiennes*, jaunes ou brunes, exemptes de lithium et de fer, contenant au maximum 30 °/₀ d'alumine; elles sont facilement fusibles — 3° les *T. ferrifères*, brun-foncé ou noires; fondent en une scorie brune ou noire. Ces trois types peuvent former des mélanges isomorphes.

Les variétés transparentes colorées en bleu, en vert ou en rouge (*Rubellite*, rouge carmin; *Indigolite*, bleu foncé, etc.) sont utilisées en bijouterie. Les T. brun-foncé mais suffisamment transparentes sont employées comme appareils de polarisation.

Carpholite. — Monoclinique. Cristaux aciculaires ou capillaires enchevêtrés. Clivage parfait suivant une face de la zone d'allongement. D. = 5; P. S. = 2,9. Eclat soyeux; jaune paille. Optiquement —; $B_a \perp (010)$; $2V_a = 60°$ (approximativement). C. ch. : $Mn(Al.2OH)_2(SiO_3)_2$. Au Ch. elle se gonfle et fond en colorant la flamme en rouge. Peu attaquable par les acides. La C. est ordinairement enchâssée dans du Quartz; on la trouve dans les Schistes devoniens de Wippra (Hartz), dans le Granite stannifère de Schlaggenwald.

Lawsonite. — Rhombique. Clivage parfait suivant (010); D. = 8; P. S. = 3,1. Gris-bleu. C. ch. : $Ca(Al.2OH)_2(SiO_3)_2$. Fusible. On la trouve dans une Eclogite de la Presqu'île de Tiburn (Californie).

Bertrandite. — Rhombique, hémimorphe; cristaux tabulaires suivant $\{010\}$. D. = 6; P. S. = 2,6. Incolore, blanche ou jaunâtre. C. ch. : $(Be.OH)_2Be_2Si_2O_7$. On la trouve avec le Béryl dans des filons de Pegmatite; Pisek (Bohême). La Villeder (Morbihan).

Liévrite. — Rhombique, $a : b : c = 0,6665 : 1 : 0,4427$. Formes dominantes : $\{110\}$, $\{120\}$, $\{101\}$, $\{111\}$. Cristaux prismatiques ou bacillaires; les faces des prismes verticaux sont ordinairement striées. D. = 5 ½ à 6; P. S. = 3,8 à 4,1. Noir-brunâtre ou noir-verdâtre. Eclat gras ou submétallique; opaque. C. ch. : $CaFe_2(Fe.OH)(SiO_4)_2$. Facilement fusible; l'acide chlorhydrique la décompose avec dépôt de silice gélatineuse. On la trouve dans les filons métallifères (Riomarino dans l'île d'Elbe, Mulatto près de Predazzo, etc.) et dans des roches de contact (Herborn dans le Duché de Nassau).

Les quatre minéraux suivants forment une série intéressante :

Prolectite. — Monoclinique. $a : b : c = 1,0803 : 1 : 3 \times 0,6287$; $\beta = 90°0'$ $[Mg(Fl, OH)]_2Mg(SiO_4)$.

Chondrodite. — Monoclinique. $a : b : c = 1,0863 : 1 : 5 \times 0,6289$; $\beta = 90°0'$ $[Mg(Fl, OH)]_2Mg_5(SiO_4)_2$.

Humite. — Rhombique. $a : b : c = 1,0802 : 1 : 7 \times 0,6291$ $[Mg(Fl, OH)]_2Mg_5(SiO_4)_3$.

Clinohumite. — Monoclinique. $a : b : c = 1,0803 : 1 : 9 \times 0,6288$; $\beta = 90°0$ $[Mg(Fl, OH)]_2Mg_7(SiO_4)_4$.

On voit que la C. ch. des trois derniers minéraux de cette série peut être déduite de celle du premier par addition de 1,2 ou 3 molécules de Mg_2SiO_4, et que le rapport de leurs axes présentent également des relations remarquables. Les cristaux de ces quatre minéraux sont souvent très riches en faces et se ressemblent beaucoup; il est même très difficile de les distinguer les uns des autres. Clivage plus ou moins parfait suivant (001). D. = 6; P.S. = 3,1 à 3,2. Parfois

incolores mais le plus souvent jaunes, brunâtres, rouge-hyacinthe. Ils sont fréquemment décomposés et transformés en Serpentine. Au Ch. ils blanchissent mais ne fondent pas; l'acide chlorhydrique les décompose avec dépôt de silice gélatineuse. Les trois derniers minéraux se trouvent surtout dans les Calcaires métamorphiques (Pargas en Finlande, Gullsjö en Suède, Boden en Saxe, Sparta dans le New Jersey, etc.), et dans certains filons métallifères (Taberg dans le Wermland (Suède), Tilly-Foster-Iron-Mine dans l'état de New York, etc.). On observe également de beaux cristaux dans les blocs rejetés de la Somma (Vésuve). La Prolectite est rare, on la trouve à Nordmark (Suède).

Ardennite. — Rhombique; $a : b : c = 0{,}4663 : 1 : 0{,}3135$. Cristaux rares, prismatiques, à faces cannelées (fig. 632; $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $m = \{110\}$, $l = \{120\}$, $n = \{320\}$, $d = \{101\}$, $u = \{321\}$, $p = \{111\}$). Clivage parfait suivant $b = \{010\}$, très net suivant $m = \{110\}$. Jaune, jaune-brunâtre, brune; éclat vitreux, résineux dans la cassure; translucide, fortement pléochroïque. Optiquement +. P.A. ‖ (010); $B_a \perp (100)$, (voir fig. 633). $2E_a = 65°$ à $75°$ (approximativement) C. Ch. : $H_{10}Mn_{10}Al_{10}Si_{10}V_2O_{55}$. Fond facilement au Ch. Donne la perle du manganèse avec

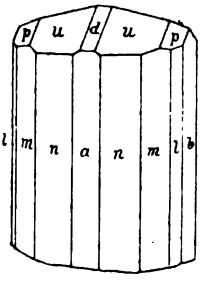


Fig. 632.

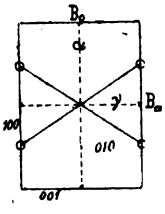


Fig. 633.

le Borax. Inattaquable par les acides chlorhydrique et nitrique, faiblement attaquée par l'acide sulfurique.

On trouve l'A. en petites masses tabulaires ou bacillaires dans un filon quartzeux des Phyllades ardennais à Salm-Château (Belgique).

Helvine. — Cubique, tétraédrique. Formes ordinaires : $\times\{111\}$, $\times\{110\}$, $\times\{100\}$. D. $= 6\,^1/_2$; P. S. $= 3{,}1$ à $3{,}3$. Eclat vitro-gras; jaune ou brun-jaunâtre; translucide. C. ch. : $(Mn, Be, Fe)_7S\,(SiO_4)_3$. Fusible, décomposée par l'acide chlorhydrique avec dégagement d'hydrogène sulfuré. Elle est quelquefois zincifère et prend alors le nom de *Danalithe*. On la trouve dans certains gîtes de Pyrite et de Blende (Schwarzenberg en Saxe), et dans des filons de Pegmatite (Miask dans l'Oural).

EPIDOTE. — (Du grec ἐπιδόσις = accroissement.) — Monoclinique; $a : b : c = 1{,}5807 : 1 : 1{,}8057$; $\beta = 115°24'$. Formes ordinaires : $a = \{100\}$, $c = \{001\}$, $r = \{10\bar{1}\}$, $e = \{101\}$, $l = \{20\bar{1}\}$, $p' = \{\bar{1}11\}$, $m = \{110\}$, (fig. 634, 635 et 636); les cristaux sont souvent très riches en faces (voir

fig. 637 et 638, $i = \{\bar{1}02\}$, $u = \{210\}$, $o\ \{011\}$, $k = \{012\}$, $g = \{013\}$, $b = \{010\}$, $s = \{\bar{1}41\}$, $t = \{\bar{5}21\}$, $v = \{\bar{2}21\}$); ils sont presque toujours allongés suivant l'axe de front; quelquefois ils sont colonnaires (fig. 636), ou aplatis soit suivant $a = \{100\}$ (fig. 637), soit suivant $c = \{001\}$ (fig. 635). Angles : (100) : (001) = 64°36′, (110) : ($\bar{1}$10) = 70°0′, (110) : (001) =

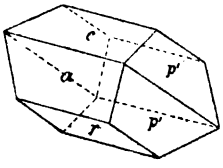


Fig. 634.

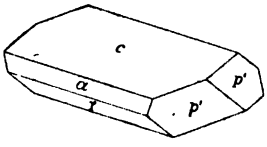


Fig. 635.

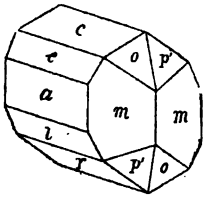


Fig. 636.

75°45′, (001) : (101) = 34°42′, (001) : (011) = 58°29′, (001) : ($\bar{1}$11) = 75°12′, (001) : ($\bar{1}$01) = 63°24′. Macles très fréquentes suivant (100), très rares suivant (001). L'E. se présente aussi en agrégats bacillaires grenus ou compacts.

Clivage très parfait suivant (001), parfait suivant (100). D. = 6 à 7; P. S. = 3,32 à 3,50. L'E. est vert-pâle, vert foncé, jaune, rouge ou noire, à éclat vitreux, translucide ou transparente. Optiquement —. Biréfringence

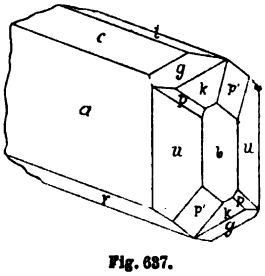


Fig. 637.

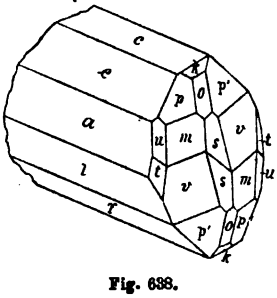


Fig. 638.

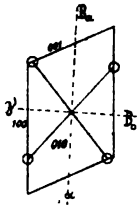


Fig. 639.

énergique. P. A. ‖ (010), (voir fig. 639) n_α = 1,7305, n_β = 1,7540, n_γ = 1,7676; $2V_a$ = 73°48′ (rayons rouges); les indices et l'angle des axes optiques sont variables. Fortement pléochroïque.

C. ch. : $Ca_2(Al.OH)(Al,Fe)_2(SiO_4)_3$. Fusible; après fusion elle est soluble dans l'acide chlorhydrique avec dépôt de silice gélatineuse.

L'E. est très répandue; sa formation est due à l'action métamorphique de roches éruptives ou à la décomposition d'autres silicates (Hornblende, Feldspaths, Grenats, etc.). On la trouve dans les fissures et les géodes des Serpentines, de diverses roches éruptives, des Schistes cristallins (Gneiss, Micaschistes, Amphibolites, etc.); elle se rencontre également

dans des roches de contact (Calcaires, Grès, Quartzites) et accompagne très souvent la Magnétite et l'Hématite dans ces roches. Quelquefois elle forme roche (*Epidosite*).

On distingue les variétés suivantes d'E.: la *Pistazite*, vert-pistache, vert-noirâtre, vert-serin; très répandue (Arendal, Bourg d'Oisans, Striegau (Silésie); en très beaux cristaux à Knappenwand dans le Sulzbachthal, Zillerthal, Zöptau en Moravie, Oural, Finlande, etc.); la *Scorza*, sable de Pistazite, des alluvions aurifères de la Transylvanie; la *Piémontite* ou E. manganésifère, violet-foncé ou rouge-brun (St Marcel en Piémont; dans le « *Porfido rosso antico* » de Djebel Doukhan en Egypte, etc.); la *Bucklandite*, noire, rouge-brunâtre par transparence; dans les cristaux de cette variété les formes $\{100\}$, $\{001\}$ et $\{10\bar{1}\}$ manquent ou ne sont pas développées (Achmatowsk dans l'Oural). La *Clinozoïsite* comprend les variétés exemptes ou presque exemptes de fer.

Orthite. — Isomorphe avec l'Epidote; $a : b : c = 1,5507 : 1 : 1,7684$; $\beta = 115°1'$. Formes ordinaires: $a = \{100\}$, $c = \{001\}$, $m = \{110\}$, $r = \{10\bar{1}\}$; on observe quelquefois $p = \{111\}$, $p' = \{\bar{1}11\}$, $x = \{\bar{1}12\}$, $k = \{012\}$, (voir fig. 640). Cristaux ordinairement allongés suivant l'axe de front et aplatis suivant $\{100\}$. L'O. se présente généralement en imprégnations ou en masses à structure grenue, bacillaire ou compacte. Macles suivant (100) et (001). Clivage peu distinct suivant (001) et (100). D. = 5 ½ à 6, P. S. = 3 à 4. Eclat gras ou submétallique; couleur noir de poix passant au brun ou au gris; elle est opaque ou translucide sur les bords. Optiquement —. P.A. ∥ (010); $n_\beta = 1,682$, $2V_a = 65°$ à $70°$. C. ch. : $Ca_2(Al.OH)(Al,Ce,Fe)_2(SiO_4)_3$. Fond avec bouillonnement en un verre noir magnétique, qui se laisse souvent décomposer par l'acide chlorhydrique.

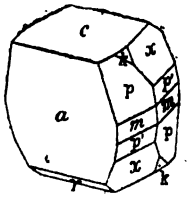


Fig. 640.

On rencontre l'O. comme élément accessoire dans les Granites et les Syénites (Striegau en Silésie, Plauen près de Dresde, etc.); en cristaux et en masses compactes dans les filons de Pegmatite (Finbo près de Fahlun, Monts Ilmen près de Miask, Canada, etc.); dans les blocs rejetés par les volcans (Vésuve; lac de Laach); dans des Calcaires grenus (Auerbach) et dans certains gîtes magnétifères (Arendal en Norvège, Schmiedefeld en Thuringe).

Zoïsite. — Rhombique; $a : b : c = 0,6196 : 1 : 0,3429$; cristaux prismatiques suivant l'axe vertical, quelquefois courbés; les faces des prismes verticaux sont striées et cannelées. Les formes ordinaires sont $\{110\}$ et d'autres prismes verticaux; on observe aussi $\{021\}$, $\{101\}$, $\{111\}$, $\{121\}$, etc.; mais toutes ces dernières formes sont rares. Angles . (110) : $(1\bar{1}0) = 63°34'$. (011) : $(0\bar{1}1) = 37°52'$; la Z. se présente aussi en agrégats bacillaires. Clivage très parfait suivant (010). D. = 6; P. S. = 3,22 à 3,36. Incolore, grise, jaunâtre, jaune ou verdâtre. Eclat vitreux, nacré sur les faces $\{010\}$. Optiquement +; P. A. ∥ (001) ou ∥ (010); $B_a \perp (100)$; $n_\alpha = 1,696$; $n_\beta = 1,696$, $n_\gamma = 1,702$. $2E_a = 42°$ à $70°$. C. Ch. : $Ca_2(Al.OH)Al_2(SiO_4)_3$. Au Ch. elle se gonfle, bouillonne et fond sur les bords en un verre clair. Les acides l'attaquent difficilement, mais la décomposent complètement lorsqu'elle a été grillée.

On trouve la Z. dans les Amphibolites, les Eclogites, etc. (Gefrees dans le

Fichtelgebirge, Saualpe en Carinthie, Tyrol, etc.); dans certains gîtes cuprifères et ferrifères (Ductown dans le Tennessée, Arendal en Norvège). Elle se forme aussi par l'altération des Feldspaths plagioclases; on la désigne dans ce cas sous le nom de *Saussurite*. La *Thulite* (Klappan près de Telemarken) est une variété manganésifère.

Cérite. — Rhombique; les cristaux sont très rares; la C. se présente généralement en masses finement grenues ou compactes. D. = 5 ½; P. S. = 4,9 à 5. Brun de girofle, rougeâtre ou gris-brunâtre. Eclat gras passant à l'adamantin; opaque ou translucide sur les bords. C. ch. : $(Ca,Fe)(Ce.O)Ce_2(OH)_3(SiO_3)_3$; infusible, décomposée par l'acide chlorhydrique. La C. se trouve associée à la Chalcopyrite, à la Molybdénite, etc. dans un filon traversant le Gneiss à Ryddarshyttan (Suède).

IDOCRASE. — (Du grec εἶδος = forme, et κρᾶσις = mélange.) — Tétragonale; $a : c = 1 : 0,5372$. Formes ordinaires : $a = \{100\}$, $m = \{110\}$, $c = \{001\}$, $p = \{111\}$; on observe fréquemment aussi $o = \{101\}$, $f = \{210\}$, $t = \{331\}$, $v = \{221\}$, et des pyramides ditétragonales comme $s = \{311\}$, $i = \{312\}$, $x = \{313\}$. Les cristaux, souvent très riches en facettes, sont ordinairement prismatiques et trapus (fig. 641 et 642) ou

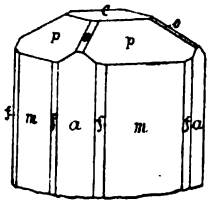


Fig. 641.

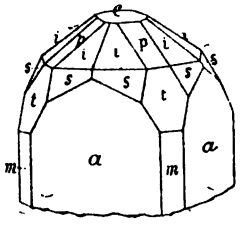


Fig. 642.

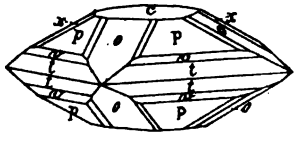


Fig. 643.

pyramidaux (fig. 643). Angles : (111) : $(1\bar{1}1) = 50°39'$, (001) : (111) = 37°13', (001) : (101) = 28°15'. Clivages imparfaits suivant {100} et {110}. Cassure inégale ou conchoïdale; D. = 6 ½; P.S. = 3,34 à 3,45; éclat vitreux passant à l'eclat gras; jaune, verte, brune ou noire, rarement bleue et designée alors sous le nom de *Cyprine*; transparente ou translucide. Optiquement —; biréfringence faible; $n_\omega = 1,7235$, $n_\varepsilon = 1,7226$ (rayons jaunes); les indices varient légèrement. Pléochroïque.

C. ch. : $Ca_6 Al_2 [Al(OH,Fl)](SiO_4)_3$. Fond facilement avec bouillonnement, en un verre jaune ou brun; l'acide chlorhydrique attaque faiblement l'I. mais la décompose complètement, avec dépôt de silice gélatineuse, lorsqu'elle a été fondue.

L'I. se présente aussi en masses grenues (*Colophonite*) et en agrégats bacillaires (*Egérane*).

On trouve l'I. en beaux cristaux implantés ou enchâssés dans des Calcaires de contact (Monzoni en Tyrol, Auerbach, blocs rejetés de la Somma); dans les

fissures de roches schisto-cristallines (Alpes, Oural, Scandinavie, etc.); dans des Serpentines (Pfitsch en Tyrol, Mussa Alpe); dans des filons métallifères (Paysberg en Suède, etc.). L'Egérane se rencontre à Haslau près d'Eger en Bohême, et la Colophonite à Arendal en Norvège.

L'I. est désignée aussi sous le nom de *Vésuvienne;* les variétés qui présentent de belles couleurs sont utilisées pour la bijouterie.

Groupe B. — Orthosilicates.

OLIVINE. — Rhombique : $a : b : c = 0,4657 : 1 : 0,5865$. Formes dominantes : $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $m = \{110\}$, $n = \{120\}$ $s = \{021\}$; on observe encore $p = \{111\}$, $d\{101\}$, $f = \{121\}$, $h = \{011\}$, $r = \{130\}$ et

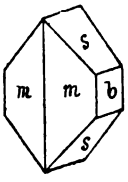


Fig. 644.

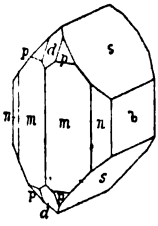


Fig. 645.

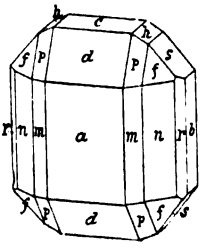


Fig. 646

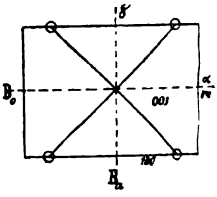


Fig. 647.

d'autres formes plus rares. Les cristaux quelquefois riches en facettes sont prismatiques, trapus ou applatis suivant $\{100\}$ (fig. 644, 645 et 646). Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 49°57'$; $(021) : (0\bar{2}1) = 99°8'$; $(101) : (100) = 38°27'$; $(111) : (1\bar{1}1) = 40°4'$; on observe des macles suivant (011). mais elles sont très rares.

Fig. 648.

Clivage parfait suivant (010), imparfait suivant (100). Cassure conchoïdale. D. = 6 ½ à 7; P. S. = 3 à 4. Eclat vitreux; incolore, grise jaunâtre, vert-olive, brune, rouge; transparente ou translucide. Optiquement +. P. A. ∥ (001); $B_a \perp (100)$ (voir fig. 647); $n_\alpha = 1,661$; $n_\beta = 1,678$; $n_\gamma = 1,697$. $2V_a = 87°46'$ (rayons jaunes).

C. ch. : les diverses variétés d'O. sont constituées par des mélanges isomorphes des orthosilicates : Mg_2SiO_4; Fe_2SiO_4; Ca_2SiO_4; Mn_2SiO_4; Zn_2SiO_4. Les variétés pauvres en fer sont infusibles, les autres variétés fondent difficilement. L'acide chlorhydrique ne décompose que les variétés ferrifères; et cette attaque est d'autant plus facile que la teneur en fer est plus considérable. L'O. est souvent altérée et transformée en Serpentine; cette altération commence au bord des fissures qui traversent le cristal et s'étend de ce point vers l'intérieur (fig. 648).

$H_4Mg_3Si_1O_9$

Les grenats sont plus du feldspath et minerai le fer (- SiO_2)

L'O. est un élément constitutif des Péridotites ; on la trouve aussi en grains dans les Gabbros et les Diabases et en cristaux microscopiques dans les Basaltes et les Mélaphyres ; elle forme souvent des masses arrondies à structure granulaire dans les Basaltes. Eifel, Langeac et Puy dans la Haute-Loire, Palatinat, etc. On la rencontre également dans les blocs rejetés par les volcans (Somma), dans certains gîtes de fer (Langban et Paysberg en Suède), dans des laves et dans des cendres volcaniques, dans des Schistes talqueux (Oural, Caroline du nord), dans des Calcaires de contact, dans des alluvions, et comme produit artificiel dans des scories de hauts fourneaux.

On distingue, d'après leur composition chimique, les variétés suivantes :

O. commune, $(Mg, Fe)_2SiO_4$ (5 à 25 °/₀ FeO), vert-jaunâtre, brun-jaunâtre quand elle est altérée ; très répandue dans les gisements désignés ci-dessus : on la trouve en beaux cristaux dans les fissures des Péridotites (Stubachthal). On emploie comme pierres fines, sous le nom de *Chrysolite orientale*, des cristaux d'une belle teinte verte, à arêtes émoussées importés d'Orient, d'Égypte et du Brésil. — L'*Hyalosidérite* de Sasbach (Kaiserstuhl) est une O. très riche en fer (30 °/₀ FeO). — Citons encore la *Knebelite* $(Mn, Fe)_2SiO_4$ de Dannemora (Suède) ; la *Hortonolite* $(Fe, Mg, Mn)_2SiO_4$ de l'Orange C^y dans l'état de New York ; la *Röpperite* $(Fe, Mn, Zn, Mg)_2SiO_4$ de Stirling Hill dans le New Jersey ; la *Fayalite* Fe_2SiO_4, en tables rouge-brunâtre ou en masses compactes dans les fissures des roches éruptives (île de Fayal l'une des Açores ; Yellowstone Park aux Etats-Unis), la *Téphroïte* Mn_2SiO_4, en cristaux et en masses gris-rougeâtre à Franklin dans le New Jersey et à Langban en Suède ; la *Forstérite* Mg_2SiO_4 en cristaux et en grains arrondis dans les blocs rejetés de la Somma, et dans des Calcaires de contact à Scheelingen (Kaiserstuhl) ; la *Monticellite* $Mg\,Ca\,SiO_4$ en grands cristaux dans le Calcaire de contact de Magnet-Cove (Arkansas) et dans les blocs de la Somma.

Phénacite. — Appartient à la tétartoédrie rhomboédrique du système hexagonal ; $a : c = 1 : 0,6611$. Cristaux rhomboédriques ou prismatiques. Formes ordinaires : $a = \varkappa\pi\,\{11\bar{2}0\}$, $r = \varkappa\pi\,\{10\bar{1}1\}$, $g = \varkappa\pi\,\{01\bar{1}2\}$ (fig. 649) ; les formes $\varkappa\pi\,\{0001\}$, $\varkappa\pi\,\{11\bar{2}3\}$, $\varkappa\pi\,\{22\bar{4}3\}$, $\varkappa\pi\,\{21\bar{3}1\}$, $\varkappa\pi\,\{32\bar{5}1\}$, etc., sont également fréquentes. L'angle $(10\bar{1}1) : (0\bar{1}11) = 63°24'$. Clivage peu distinct suivant $\{11\bar{2}0\}$. D. = 7 à 8 ; P. S. = 2,96 à 3,0. Eclat vitreux ; translucide ou transparente ; incolore, jaunâtre, jaune ou rose. Optiquement +; $n_\omega = 1,6540$; $n_\varepsilon = 1,6697$ (rayons jaunes). C. ch. : Be_2SiO_4. Infusible, inattaquable par les acides.

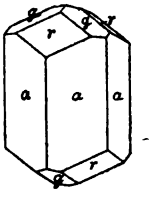


Fig. 649.

On trouve la P. dans des filons de Pegmatite (Monts Ilmen, Oural), dans des Micaschistes (Takowaya, Oural), dans l'Hématite brune avec Quartz à Framont (Vosges).

Willémite. — Isomorphe avec la Phénacite. Se présente en cristaux prismatiques et en masses à structure grenue ou compacte. Clivage distinct suivant (0001) ; D. = 5 ¹/₂ ; P. S. = 4,1. Eclat vitreux passant au gras ; translucide ou transparente ; incolore, jaunâtre, brune ou bleue. C. ch. : Zn_2SiO_4. Difficilement fusible sur les bords ; l'acide chlorhydrique la décompose. On trouve la W. associée à la Calamine, à la Vieille-Montagne et à Stolberg près d'Aix-la-Cha-

pelle, à Sterling-Hill (New Jersey), etc. La W. est quelquefois manganésifère, on la désigne alors sous le nom de *Troostite*.

Danburite. — Rhombique; $a : b : c = 0,5445 : 1 : 0,4808$. Formes dominantes : {110}, {120}, {001}, {101} et {041}. Cristaux prismatiques suivant l'axe vertical. Clivage peu parfait suivant (001). D. = 7 à 7 ½; P. S. = 2,98 à 3,02. Jaune pâle ou brun-jaunâtre; éclat vitreux passant au gras; translucide ou transparente. P. A. ∥ (001). B_a pour le rouge ⊥ (010); B_a pour le bleu ⊥ (100). $2V_a = 87°37'$ (rouge); $2V_a = 89°4'$ (bleu). $n_\alpha = 1,6258$; $n_\beta = 1,6303$; $n_\gamma = 1,6331$. C. ch. : $CaBe_2(SiO_4)_2$.

Au Ch. elle fond et colore la flamme en vert; l'acide chlorhydrique ne l'attaque efficacement que quand elle a été fondue. On trouve la D. dans une Dolomie à Danbury (Connecticut) et dans les Schistes cristallins du Mont Scopi en Suisse.

Barsowite. — Rhombique; se présente en agrégats finement grenus ou en masses compactes. D. = 5 ½ à 6; P. S. = 2,58. C. ch. : $CaAl_2(SiO_4)_2$. On la trouve dans les alluvions aurifères de Barsowsk (Oural).

Pseudobrookite. — Rhombique; se présente en petites tables ressemblant à celles de la Brookite. C. ch. : $Fe_4(TiO_4)_5$. On la rencontre dans les druses de l'Andésite de l'Aranyer Berg (Hongrie), dans le Trachyte du Riveau Grand (Mont Dore), etc.

Eulytine. — Cubique, tétraédrique. Petits cristaux implantés. Formes principales : × {111}; × {110} et × {211}. D. = 5 à 6; P. S. = 6,1. Éclat adamantin; transparente ou translucide; brun de girofle ou jaune de miel. C. ch. : $Bi_4(SiO_4)_3$. Fusible, décomposée par les acides. On la trouve avec les minerais de bismuth à Schneeberg (Erzgebirge). Elle est accompagnée de l'**Agricolite** qui a la même composition mais qui appartient au système monoclinique.

GRENAT. — (De *grenade*, à cause de sa couleur.) — Cubique; la forme dominante est généralement le dodécaèdre rhomboïdal d = {110}, auquel s'ajoutent fréquemment i = {211} et v = {321}, (fig. 650, 651 et 652). On observe aussi la combinaison {211}.{232}; l'octaèdre {111} est très rare. Clivage plus ou moins distinct suivant {110}. Cassure conchoïdale, inégale et écailleuse. D. = 6 ½ à 7 ½. P. S. = 3,4 à 4,3. Le G. est vert, jaune, rouge, brun ou noir, rarement blanc-jaunâtre ou incolore; éclat vitreux ou gras; translucide ou transparent. Son indice de réfraction varie de 1,747 à 1,814. Les sections minces de G. montrent souvent des phénomènes de double réfraction; celle-ci toutefois n'est pas réelle, mais constitue une anomalie, ainsi qu'il résulte des recherches de M. Klein. D'après ce savant un cristal de G., simple en apparence, se compose de plusieurs individus biréfringents en forme de pyramide ayant comme base les faces du cristal, et dont les sommets se rencontrent en son centre. Ce phénomène s'observe le plus nettement sur les cristaux qui ne présentent qu'une seule forme, octaèdre, rhombododécaèdre, icositétraèdre ou hexakisoctaèdre.

C. ch. : $R''_3R'''_2(SiO_4)_3$, dans cette formule R'' = Fe, Mg, Mn, Ca;

R''' = Al, Fe, Cr; l'acide silicique est quelquefois remplacé par l'acide titanique. Les G. fondent avec plus ou moins de facilité en un émail vert, brun ou noir, qui est souvent magnétique. L'acide chlorhydrique ne les attaque que quand ils ont été fondus.

Le G. abonde dans les Schistes cristallins (Micaschistes, Eclogites, Granu-

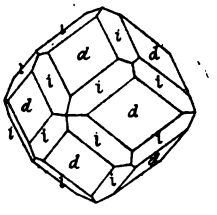


Fig. 650.

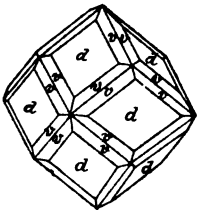


Fig. 651.

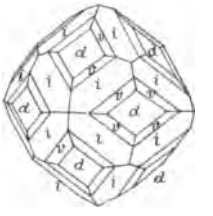


Fig. 652.

lites, etc.) et dans les Calcaires de contact; on le trouve aussi dans quelques roches éruptives (Granites, Diorites, Andésites, Porphyrites, etc.), dans des filons métallifères et dans des alluvions.

Nous signalons les variétés principales du G.

Grossulaire — (de *grossularia* = groseille) — $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$, incolore, gris verdâtre, blanc jaunâtre ou blanc verdâtre. P.S. = 3,4 à 3,7; facilement fusible; n = 1,7468 à 1,7714 (rayons jaunes). Se trouve dans des Calcaires de contact (Monzoni en Tyrol, Auerbach dans le duché de Hesse, Rezbanya en Hongrie, etc.), et dans les fissures des Schistes chloriteux et surtout de certaines Serpentines (Jordansmühl en Silésie, Slatoust dans l'Oural etc.) — *Hessonite* — (Du grec ἥσσων = inférieur). $Ca_3(Al,Fe)_2(SiO_4)_3$; jaune de miel, jaune orangé, rouge hyacinthe; elle accompagne le Grossulaire; on en rencontre de beaux cristaux dans certaines Serpentines (Alpes de Mussa et Oural). Les variétés de H. très riches en fer sont appelées *Aplome*. — *Topazolithe* $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$; jaune pâle, jaune franc, jaune verdâtre ou vert émeraude; cristaux riches en facettes, offrant des hexakisoctaèdres qui se rapprochent de la forme du dodécaèdre rhomboïdal. On trouve la T. dans les fissures et les géodes de certaines Serpentines (Ala en Piémont, Wurlitz près de Hof dans le Fichtelgebirge, etc.), et dans des gîtes ferrifères (Framont en Alsace, Arendal en Norvège). Les belles variétés vert émeraude (*Demantoïde*) provenant des alluvions aurifères de l'Oural sont recherchées comme pierres fines. — *Mélanite* $Ca_3(Fe,Ti)_2[(Si,Ti)O_4]_3$; c'est une Topazolithe titanifère, noire, opaque, qu'on trouve en cristaux isolés dans les roches éruptives (Frascati près de Rome, Kaiserstuhl dans le Grand-Duché de Bade, New Haven dans le Connecticut, etc.). Les variétés très riches en titane sont désignées sous le nom de *Schorlomite*. — *Ouwarowite*. $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$; vert-émeraude foncé. D. = 7 ½ à 8; P. S. = 3,4 à 3.5. Infusible; on la trouve dans l'Oural associée à la Chromite. — *Spessartine* $(Mn,Fe)_3(Al,Fe)_2(SiO_4)_3$, jaune-rougeâtre ou rouge-brunâtre; se trouve dans les filons de Pegmatite du Granite (Spessart en Bavière, Chanteloube (Haute-Vienne), île d'Elbe, Arendal, etc.), dans des roches éruptives (Ilfeld, Hartz, Nathrop dans le Colorado), dans le Coticule des Ardennes, etc. — *Almandine* $(Fe,Mg)_3(Al,Fe)_2(SiO_4)_3$;

rouge-cerise, rouge de sang, rouge-brunâtre ou brun-rougeâtre. Fond au Ch. : une scorie noirâtre magnétique. Elle est très répandue, on la trouve dans les Schistes cristallins, surtout dans les Eclogites dont elle constitue un élément essentiel, et dans les Amphibolites; on la rencontre aussi dans des roches éruptives et dans des alluvions (Ceylan, Brésil, etc.). De beaux cristaux d'A viennent des Alpes (St Gothard etc.), de Fahlun (Suède), de l'Oural et surtout de Stikeen river dans l'Alaska. Les belles variétés transparentes sont employées pour la bijouterie. — *Pyrope* $(Mg,Fe)_3(Al,Fe)_2(SiO_4)_3$; le P. est une Almandine riche en magnésie, il est parfois chromifère; difficilement fusible; rouge hyacinthe foncé ou rouge de sang; il se présente ordinairement en grains arrondis enchâssés ou isolés. Parfois translucide, mais ordinairement transparent, $n = 1,814$. On le trouve dans des Péridotites, dans des Serpentines (Zöplitz en Saxe) et dans des alluvions (Meronitz en Bohême, Brésil, Cap de Bonne Espérance, etc.). La belle couleur, la grande dureté et le pouvoir réfringent assez élevé du P. le font rechercher comme pierre fine. Les plus beaux spécimens sont importés de Bohême (*Grenats de Bohême*) et du Cap de Bonne Espérance (*Rubis du Cap*).

Dioptase. — Appartient à la tétartoédrie rhomboédrique du système hexagonal : $a : c = 1 : 0,5281$. Cristaux prismatiques, courts (fig. 189); clivage parfait suivant les faces du rhomboèdre primitif $\varkappa\pi\{10\bar{1}1\}$. D. = 5; P.S. = 3,27 à 3,35. Vert-émeraude; éclat vitreux; translucide ou transparente; optiquement $-$ $n_\omega = 1,667$; $n_\varepsilon = 1,724$. C. ch. : H_2CuSiO_4. Noircit au Ch. mais ne fond pas; soluble dans les acides nitrique et chlorhydrique avec dépôt de silice gélatineuse. On la rencontre dans le Calcaire du mont Altyn-Tübe dans la Steppe Kirghise.

Chrysocolle. — Amorphe; se présente en masses compactes, réniformes ou stalactitiques, en croûtes ou en imprégnations. D. = 2 à 4; P. S. = 2 à 2,3; éclat gras; vert-émeraude ou vert-bleuâtre. C. ch. variable, répondant quelquefois à la formule $H_2CuSiO_4.H_2O$; souvent mélangé d'Hématite brune. Infusible, soluble dans l'acide chlorhydrique avec dépôt de silice pulvérulente. Le C. est un produit de décomposition de minerais de cuivre; on le trouve, parfois en masses exploitables, au Chili, en Hongrie et dans l'Oural.

Prehnite.—Rhombique; $a : b : c = 0,84 : 1 : 1,11$. Formes dominantes $\{001\}$ et $\{110\}$; les faces de cette dernière forme sont généralement arrondies. Cristaux tabulaires suivant $\{001\}$ ou prismatiques suivant $\{110\}$, réunis en druses ou en agrégats globuliformes; quelquefois disposés en éventail. Clivage assez parfait suivant (001), imparfait suivant $\{110\}$; D. = 6 à 7; P. S. = 2,8 à 3. Incolore, blanc-verdâtre, verte, translucide ou transparente. Optiquement $+$. P. A. $\parallel$ (010); $B_a \perp$ (001); $n_\alpha = 1,615$; $n_\beta = 1,626$; $n_\gamma = 1,649$; $2V_a = 66°$ (rayons jaunes). C. ch. : $H_2Ca_2Al_2(SiO_4)_3$; parfois ferrifère. Donne de l'eau dans le tube fermé; au Ch. elle fond avec bouillonnement; après calcination elle est décomposée par l'acide chlorhydrique.

La P. se rencontre surtout dans les druses et les cavités amygdaloïdes des roches éruptives basiques (Diorites, Diabases, Melaphyres, etc.), et dans les fissures des Schistes cristallins (Gneiss, Micachistes, Amphibolites, etc.); on la trouve aussi dans certains filons métallifères. Oisans (Dauphiné), Vallée de Fassa (Tyrol), Oberstein (Principauté de Birkenfeld), Wermsdorf (Moravie), Kilpatrick (Écosse), Cap de Bonne Espérance, etc.

Axinite. — (Du grec ἀξίνη = hache). — Triclinique; formes dominantes : $P = \{1\bar{1}0\}$, $u = \{110\}$, $r = \{1\bar{1}1\}$, $l = \{100\}$, $v = \{010\}$, $s = \{201\}$, $x = \{111\}$ (fig. 653). Cristaux tabulaires isolés ou réunis en druses; les arêtes du contour sont très aiguës. Angles : $(1\bar{1}0) : (1\bar{1}1) = 45°15'$; $(110) : (1\bar{1}1) = 64°22'$; $(110) : (1\bar{1}0) = 44°29'$. L'A. se présente aussi en masses fibro-lamellaires ou compactes. Clivage distinct suivant (010) ; cassure conchoïdale; D. = 6 ½ à 7; P. S. = 3,3. Brun de girofle, gris de fumée, violet brunâtre ou rose pâle; éclat vitreux; translucide ou transparente. Optiquement —. P. A. presque ⊥ (111), et forme avec l'arête $x : r$ un angle de 24°40'. B_a presque ⊥ (111); $n_\alpha = 1,672$; $n_\beta = 1,678$; $n_\gamma = 1,681$; $2V_a = 71°38'$ (rayons rouges). Pléochroïque. C. ch. : $H(Ca,Fe,Mn)_5Al_2B(SiO_4)_4$. Au Ch. elle se gonfle et fond en un verre vert foncé; après fusion elle est décomposée par l'acide chlorhydrique.

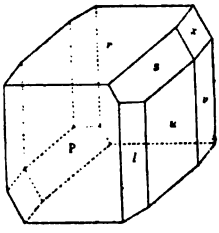


Fig. 653.

L'A. se rencontre surtout dans les fissures des Schistes cristallins (St-Christophe en Oisans, St-Gothard, Tyrol, Fichtelgebirge, Oural, etc.), et parfois dans certains gîtes métallifères (Botallack en Cornouailles, Arendal, Ducktown dans le Tennessée, etc.).

La famille la plus importante de ce groupe est celle des

MICAS.

Les Micas (du latin *micare* = étinceler) appartiennent probablement tous au système monoclinique, mais leurs formes se rapprochent beaucoup de la symétrie hexagonale ou rhomboédrique; ils présentent tous un clivage parfait et extrêmement facile suivant la face de base $c = \{001\}$, de sorte qu'ils se divisent aisément, suivant cette face, en feuillets très minces; quand on place un de ces feuillets sur une feuille de caoutchouc, et qu'on y enfonce un poinçon d'un coup sec, on obtient une *figure de percussion* (fig. 654) plus ou moins distincte, qui se compose de trois fentes disposées en étoile, et dont l'une est toujours parallèle au plan de symétrie (010). Quand on exerce une pression sur un feuillet de Mica à l'aide d'une pointe émoussée et arrondie, on obtient une seconde figure (*Figure de pression*); les gerçures également au nombre de trois qui composent cette figure, sont perpendiculaires à celles de la figure de percussion, et elles sont beaucoup moins nettes que ces dernières. — Au point de vue optique tous les Micas sont biaxes et de signe négatif, mais l'angle des axes optiques est parfois très petit. B_a est presque perpendiculaire au plan de clivage (001); le plan des axes optiques est ou ⊥ au plan de symétrie (*Micas I* ou *de premier ordre*) ou ∥ à ce plan (*Micas II* ou *de second ordre*). La distinction des Micas d'après la position du plan des axes optiques peut se faire même dans le cas où le feuillet présente des contours irréguliers, et où par conséquent la direction du plan de symétrie est inconnue; à cet effet on produit la figure de percussion et on examine le feuillet à l'aide de l'appareil de Nörremberg : si le plan des axes optiques est ⊥ à une des fentes on a affaire à un Mica I; si au contraire il lui est ∥, le Mica est de

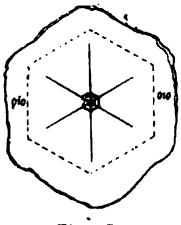


Fig. 654.

second ordre. — La C. ch. est variable et quelquefois complexe; tous les Micas donnent de 4 à 13 °/₀ d'eau par calcination; leur teneur en silice oscille entre 33 et 56 °/₀.

On peut diviser cette famille en *Micas proprement dits* (M. élastiques et peu durs), *Clintonites* (M. cassants et durs) et *Chlorites* (M. non élastiques et peu durs).

I. — Micas proprement dits.

BIOTITE ou Mica magnésien. — Monoclinique; $a:b:c = 0,577:1:2,217$; $\beta = 95°3'$. Formes dominantes $c = \{001\}$, $b = \{010\}$, $p = \{111\}$, $o = \{111\}$; fréquemment on observe aussi $d = \{101\}$, $i = \{131\}$, et d'autres formes. Les cristaux sont généralement tabulaires suivant $c = \{001\}$ (fig. 655

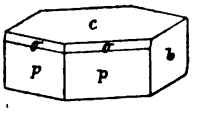


Fig. 655.

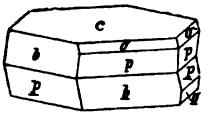


Fig. 657.

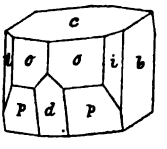


Fig. 656.

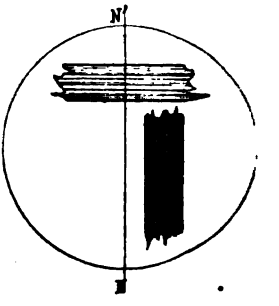


Fig. 658.

et 656). Les faces p et o sont souvent striées parallèlement à leur arête de combinaison. Macles fréquentes; le plan de macle est perpendiculaire à $c = \{001\}$ et passe par l'arête $o:c$; le plan d'assemblage est ordinairement le plan c (fig. 657), rarement le plan de macle lui-même. Angles : $(001):(111) = 73°2'$; $(001):(111) = 81°19'$. La B. se présente aussi en agrégats lamellaires et écailleux. Clivage très parfait suivant (001); les feuillets minces sont flexibles et élastiques; les figures de percussion etc., sont fort nettes. D. = 2 ½ à 3; P. S. = 2,8 à 3,2; éclat nacré, semi-métallique sur les faces de clivage, vitreux ou semi-adamantin sur les autres faces. La B. est vert-foncé, brun-foncé ou noire; translucide ou opaque. Optiquement —. P. A. ∥ (010) (*Méroxène*) ou, plus rarement, ⊥ (010) (dans les *Anomites*). B_a presque ⊥ (001); $n_\alpha = 1,562$; $n_\beta = 1,606$; $n_\gamma = 1,606$; $2E_a = 0°$ à 20°; cet angle augmente avec la teneur en fer. Fortement pléochroïque dans les sections plus ou moins perpendiculaires à (001) : le rayon qui vibre parallèlement au clivage est plus fortement absorbé que l'autre; quand on enlève le Nicol supérieur du microscope et qu'on fait tourner la platine rotative portant la section mince qu'on étudie, on constate que cette section prend la teinte la plus foncée au moment où le clivage est parallèle à la section principale du Nicol inférieur (voir fig. 658).

C. ch. : $(K,H)_2(Mg,Fe)_3(Al,Fe)_2(SiO_4)_5$. (10 °/₀ à 30 °/₀ MgO, 38 °/₀ à 43 °/₀ SiO_2). Difficilement fusible en un verre noir ou gris-noirâtre; fortement chauffée dans le tube fermé elle donne de l'eau parfois chargée d'acide fluorhydrique. L'acide chlorhydrique ne l'attaque pas, mais l'acide sulfurique concentré la décompose avec dépôt de silice qui conserve la forme des paillettes décomposées. Plus la B. est riche en fer et moins elle résiste à la décomposition naturelle. Les figures de corrosion ont été décrites page 180 (fig. 388).

La B. est un élément constitutif ou accessoire d'un grand nombre de roches éruptives (Granites, Syénites à Mica, Trachytes, Liparites, etc.), et de certains Schistes cristallins (Gneiss, Micaschistes, etc.); on la rencontre aussi dans des roches de contact et sous forme de grandes lames dans certains filons de Pegmatite. Les fissures des blocs rejetés de la Somma sont parfois tapissées de beaux cristaux implantés de B.

Nous signalons les sous-espèces suivantes de B. : **Phlogopite** — (du grec φλογωπός = semblable au feu). — Pauvre en fer (0,5 à 2 °/₀ FeO), brun-jaunâtre, rouge-brunâtre, verte ou incolore; éclat nacré passant à l'éclat métallique sur les faces de clivage. D. = 2 ½ à 3; P.S. = 2,78 à 2,95. Elle renferme souvent de fines aiguilles de Rutile ou d'autres minéraux, qui sont disposées d'une manière régulière parallèlement à la base. La P. se rencontre surtout dans les Calcaires et Dolomies de contact, en cristaux parfois assez beaux (Pargas en Finlande, Campolungo dans le Canton du Tessin, St-Lawrence Cy. dans l'État de New York, etc.); on la trouve aussi dans la Serpentine (Zillerthal) et en tables dans les filons de Pegmatite de Burgess au Canada. — **Lépidomélane** — (Du grec λεπίς = écaille et μέλας = noir). — Très riche en fer; noir très foncé. D. = 3; P.S. = 3. Au Ch. elle brunit et fond en un verre noir magnétique; l'acide chlorhydrique la décompose assez facilement. On la trouve à Persberg dans le Wermland (Suède) et à Freiberg en Saxe. — **Anomite.** — (Du grec ἄνομος = anormal). — Verte ou vert-brunâtre, l'A. comprend les variétés très rares dont les axes optiques sont situés dans un plan perpendiculaire à (010). (*Micas I*). Elle se trouve en beaux cristaux verts à Greenwood Furnace près de Monroe, et avec Diopside dans le Calcaire grenu du lac Baïkal (Sibérie).

Parmi les produits de décomposition de la Biotite mentionnons les **Vermiculites**; l'aspect de ces minéraux rappelle celui de la Biotite, mais ils ont la propriété de se gonfler énormément au Ch. en prenant la forme d'un cylindre plus ou moins tordu. On les trouve dans une gangue stéatiteuse à Milbury (Massachusetts).

A la Biotite se rattachent les Micas lithinifères :

Zinnwaldite. — Isomorphe avec la Biotite; formes dominantes $c = \{001\}$, $p = \{11\bar{1}\}$, $b = \{010\}$. Les faces c et b sont luisantes, les autres mates. Cristaux tabulaires groupés en forme d'éventail, de rose ou de tonnelet. Macles fréquentes analogues à celles de la Biotite. Elle se présente aussi en agrégats lamellaires. Clivage très parfait suivant (001). D. = 2 à 3; P. S. = 2,81 à 3,19. Grise, violette, brune ou vert foncé; éclat nacré passant à l'éclat métallique sur la face (001). Translucide; optiquement —; P. A. ‖ (010). $2E_a = 65°$, mais presque nul dans les variétés

riches en fer. C.ch. : $(Fl,OH)_2(Li,K)_5FeAl_5Si_5O_{16}$; (4 à 8 °/₀ Fe; 1,5 à 5 °/₀ Li; 44 à 47 °/₀ SiO_2). Au Ch. elle se gonfle et fond facilement en un verre incolore, brun ou noir, et colore la flamme en rouge. Après fusion elle est décomposée par les acides. On trouve la Z. dans les Granites stannifères (Zinnwald, Altenberg dans l'Erzgebirge, Cornouailles, etc.). — **Lépidolite.** — Paillettes et masses composées de très petites écailles arrondies. Clivage très parfait suivant (001). D. = 2; P.S. = 2,8 à 3,1. Eclat nacré; rose pâle, rose-violacé ou violet foncé, rarement verdâtre. Transparente. P.A. ⊥ (010), elle appartient donc au groupe des *Micas I*; $2E_a$ = 50° à 77°. C. ch. : $(Fl,OH)_2(Li,K)_3Al_3Si_3O_9$; (4 à 6 °/₀ Li; 49 à 52 °/₀ SiO_2). Ses réactions sont analogues à celles de la Zinnwaldite. La L. se trouve dans les Granites associée à la Zinnwaldite et à d'autres minéraux fluorés. Rozéna (Moravie), Penig (Saxe), Alabaschka (Oural), Paris et Hébron dans l'État de Maine, etc.; elle sert à la préparation des sels de lithium. — La **Cryophyllite** de Cap Aun (Massachusetts) est également lithinifère et très riche en acide silicique (51 à 54 °/₀).

MUSCOVITE ou Mica potassique. — Isomorphe avec la Biotite; formes ordinaires : $c = \{001\}$, $m = \{110\}$, $b = \{010\}$, $p = \{11\bar{1}\}$, $y = \{021\}$, $g = \{083\}$. Cristaux aplatis suivant $c = \{001\}$ (fig. 659), mais offrant quelquefois un aspect pyramidal par suite de la prédominance des formes m, p, et de prismes de profil très aigus, tels que z par exemple (fig. 660). Macles identiques à celles de la Biotite. Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 59°49'$; $(001) : (110) = 85°36'$; $(00\bar{1}) : (11\bar{1}) = 81°30'$. La M. se présente aussi en agrégats lamelleux, écailleux ou schisteux.

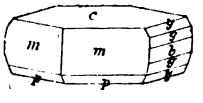


Fig. 659.

Fig. 660.

Clivage très parfait suivant (001); les lamelles de clivage sont flexibles et élastiques, souvent finement plissées ou ondulées; elles donnent des figures de percussion et de pression très nettes (voir plus haut). D. = 2 à 3; P.S. = 2,76 à 3,1. Incolore, blanc-jaunâtre, verdâtre, brunâtre ou rougeâtre; éclat nacré passant à l'éclat métallique sur les faces c. Transparente. Optiquement —. Biréfringence fortement prononcée; P.A. ⊥ (010); c'est donc un des *Micas* I. B_a presque ⊥ (001). Les indices et les angles des axes optiques sont sujets à de légères variations; $n_\alpha = 1,5609$; $n_\beta = 1,5941$; $n_\gamma = 1,5997$; $2V_a = 43°48'$ (M. provenant du Bengale, rayons jaunes); $2E_a$ = 55° à 75°. — Dans les plaques minces la M. apparait sous forme de paillettes déchiquetées, non pléochroïques, et fortement irisées, entre les Nicols croisés.

C. ch. : $H_2KAl_3(SiO_4)_3$ (8 à 10 °/₀ K_2O, environ 46 °/₀ SiO_2). La M. contient toujours de petites quantités de fluor, de sodium, de fer, de manganèse, de magnésium ou de calcium. Dans le tube fermé elle donne de l'eau

chargée d'acide fluorhydrique; au Ch. elle fond, avec plus ou moins de difficulté, en un verre ou en un émail inattaquables aux acides. La M. résiste bien aux agents naturels de décomposition; elle renferme souvent des microlithes et de grands cristaux de Tourmaline, de Magnétite et d'autres minéraux.

La M. est très répandue, c'est un élément essentiel des Gneiss, des Micaschistes et des Granites; elle se montre en cristaux implantés et parfois en lames de grande dimension dans les fissures et les filons (filons de Pegmatite) qui traversent ces roches. On la rencontre également dans les Calcaires et Dolomies saccharoïdes, dans les Grés, dans les Sables quartzeux, etc. Elle se forme parfois par l'altération d'autres silicates (Andalousite, Feldspath, Néphéline, etc.). St-Gothard, Iekatarinbourg (Oural), Sibérie; États du New Hamsphire, du Maine, de New York, de Pensylvanie, etc.; Bengale, Fahlun (Suède), Pargas (Finlande), etc.

Parmi les variétés très nombreuses de la Muscovite mentionnons la *Séricite* — (du grec σηρικός = soyeux) — formant des agrégats finement écailleux ou lamellaires et des tables isolées, blanc-jaunâtre, blanc-verdâtre ou vert-poireau; éclat soyeux; tendre, grasse au toucher. P.S. = 2,81. Sa C. ch. répond à celle de la Muscovite. La S. s'est probablement formée par l'altération d'autres silicates; elle est très répandue dans les Schistes anciens (Taunus, Ardenne etc.) qui lui doivent leur aspect brillant et soyeux. Quelques variétés plus rares, telles que la *Phengite* par exemple, sont très riche en silice (jusqu'à 56 °/₀) et répondent plutôt à un mélange isomorphe des deux silicates $R'_5Al_5(SiO_4)_5$ et $R'_5Al_5(Si_2O_8)_5$; R' = K, Na, H.

On utilise la Muscovite dans l'industrie pour la fabrication de cheminées de lampe incassables, d'isolateurs électriques, etc. Réduite en poudre fine elle entre dans la composition des couleurs imitant le brocart. Le prix de ce minéral varie de 5 à 10 francs le kilogramme, suivant la dimension des feuillets. On l'exploite dans l'Oural, aux Etats-Unis et au Canada. La production annuelle de la Muscovite s'élève à cinq millions de francs aux Etats-Unis et dépasse 700,000 francs au Canada.

A la suite de la Muscovite se range la

Paragonite ou Mica sodique; — ce minéral forme des masses compactes ou finement écailleuses. D. = 2 à 2 ½; P.S. = 2,778; éclat nacré faible. La P. est blanc-jaunâtre ou grisâtre; ses propriétés sont analogues à celles de la Muscovite. $2E_a$ = 70° environ. C. ch. : $H_2NaAl_5(SiO_4)_5$; une petite partie du sodium est toujours remplacée par du potassium; l'acide sulfurique concentré la décompose à chaud. La P. forme roche (Schistes à Paragonite); Monte Compione (Canton du Tessin), Pfitschthal (Tyrol), île de Syra (Archipel grec), Oural, etc. Le Schiste à Paragonite renferme souvent de beaux cristaux de Staurotide, de Disthène, d'Actinote et de Cordiérite.

Aux Micas proprement dits se rapportent la Glauconie et la Céladonite.

La **Glauconie** est un silicate hydraté de Fe_2O_3, Al_2O_3, K_2O; (43 à 55 °/₀ SiO_2), et se présente en masses compactes, terreuses ou grenues et surtout sous

forme de grains verts ou noirâtres ressemblant à de la poudre à canon. D. = 2; P.S. = 2.3. Elle fond difficilement en un verre faiblement magnétique. L'acide chlorhydrique concentré la décompose complètement à chaud. On trouve la G. dans les roches sédimentaires, principalement dans les Marnes, les Grès et les Sables des terrains crétacé, tertiaires et quaternaires. On la rencontre en grande quantité dans la Craie de l'Etat du New-Jersey. On l'exploite comme engrais et comme matière colorante verte.

La **Céladonite** ou Terre verte forme des masses à structure écailleuse, vert-céladon ou vert-olive. D. = 1 à 2; P.S. = 2,8 à 2,9; grasse au toucher. C. ch. analogue à celle de la Glauconie. C'est probablement un produit de décomposition de l'Augite et de la Hornblende. On la trouve surtout dans les vacuoles des Mélaphyres et dans les tufs de ces roches. Monte Baldo près de Vérone; Kaaden en Bohême. La C. est utilisée comme couleur verte.

II. — Clintonites.

Les Clintonites ressemblent beaucoup aux Micas par la forme cristalline, les macles, le clivage, les propriétés optiques, etc.; mais ils s'en distinguent par la dureté, par le manque d'élasticité, par leur tendance à se casser, et par une teneur en silice beaucoup moins élevée.

Nous signalons parmi les Clintonites les minéraux suivants :

Margarite ou Mica calcique — (Du grec μαργαρίτης = perle). — Monoclinique; se présente en lamelles entrelacées d'apparence hexagonale, et en agrégats lamellaires ou écailleux. Clivage parfait suivant (001); les feuillets de clivage sont cassants. D. = 3 ½ à 4 ½; P.S. = 3. Eclat nacré fortement prononcé; translucide; d'un blanc pur, blanc grisatre ou blanc rougeâtre; Optiquement —. P.A. ⊥ (010); B_a forme un angle de 6 à 8° avec la normale à (001); 2E = 100° et plus; n_β = 1,64 à 1,65. C. ch. : $H_2CaAl_4Si_2O_{12}$ (30 °/₀ environ de SiO_2). Au Ch. la M. se gonfle et fond difficilement; elle donne de l'eau dans le tube fermé; les acides ne l'attaquent pas. On la trouve dans un schiste chloriteux au mont Greiner dans le Zillerthal, et elle accompagne ordinairement le Corindon ou l'Emeri (Ile de Naxos en Grèce, Etats-Unis), et l'Emeraude (Takowaja dans l'Oural).

Xanthophyllite. — Tablettes monocliniques vertes à aspect rhomboédrique (dans un Schiste chloriteux à Achmatowsk, Oural), ou en nodules jaune de cire à structure flabelliforme ou écailleuse (dans un calcaire des monts Schischimsk près Slatoust dans l'Oural); D. = 4 ½ à 5 ½; P.S. = 3; P.A. ∥ (010); B_a presque ⊥ (001); les axes optiques sont très rapprochés — **Brandisite**. Tablettes vert-poireau ou vert-noirâtre, à contours hexagonaux. D. = 5 à 6; P.S. = 3; P.A. ∥ (010); B_a presque ⊥ (001); $2E_a$ = 18° à 35°; on la trouve dans un Calcaire de contact au Val de Fassa en Tyrol. — **Clintonite.** Prismes tabulaires à contours hexagonaux, brun-rougeâtre ou rouge de cuivre. D. = 4 à 5; P.S. = 3,1; P.A. ⊥ (010); B_a presque ⊥ (001). Axes optiques très rapprochés. On trouve la C. dans un calcaire à Amity et à Warwick dans l'Etat de New York.

La Xanthophyllite, la Brandisite et la Clintonite peuvent être considérées comme formées par des mélanges isomorphes du silicate $H_2CaMg_4Si_2O_{12}$ et de l'aluminate $H_2CaMgAl_6O_{12}$; leur teneur en silice varie de 16 à 20 °/₀.

Ottrélite. — Se présente en petits disques, ou en lamelles à contours hexagonaux et parfois octogonaux; ces cristaux sont probablement monocliniques. On observe des macles polysynthétiques. D. = 6 à 7; P. S. = 3,3. Clivage parfait suivant (001). Les lamelles d'O. sont miroitantes, gris-noirâtre, verdâtres par transparence. P.A. ∥ (010), B_a presque ⊥ (001). Pléochroïque. C. ch. $H_2(Fe, Mn, Ca, Mg)(Al,Fe)Si_2O_9$ (43 °/₀ SiO_2 environ). On la trouve à Aste dans la vallée d'Ossau (Pyrénées), dans des Phyllades cambriens à Ottré près de Vielsalm, etc.

Chloritoïde. — Lames hexagonales plus ou moins contournées, et agrégats lamellaires ou flabelliformes. D. = 6 à 7; P. S. = 3,4 à 3,6. Eclat faiblement nacré ou vitreux; vert foncé; translucide en lames minces. Optiquement +; P.A. ∥ (010); B_a forme un angle d'environ 12° avec la normale à (001). L'angle des axes optiques est très grand. C. ch. $H_2(Fe,Mg)Al_2SiO_7$. La C. est un élément très abondant des Schistes argileux métamorphiques (Canada); elle se trouve dans un Calcaire, en grandes lames enchevêtrées, à Kosoibrod près d'Iekatharinbourg (Oural) et en petites lames épaisses associées à l'Emeri à Gumuch Dagh (Asie Mineure).

III. — Chlorites.

Les Chlorites — (Du grec χλῶρος = vert) — ont comme les Clintonites, beaucoup d'analogie avec les Micas proprement dits; elles sont probablement toutes monocliniques, en présentant des formes voisines de la symétrie hexagonale ou rhomboèdrique; elles offrent un clivage très parfait suivant la base. La bissectrice aiguë est presque normale au clivage; leur D. = 2 et leur P.S. = 2,6 à 2,8; d'autres propriétés encore les rapprochent des Micas, mais leurs feuillets de clivage sont flexibles sans élasticité, et leur teneur en silice (24 à 36 °/₀) est notablement inférieure à celle des Micas. Quelques-unes, désignées sous le nom d'*Orthochlorites*, peuvent être envisagées au point de vue de la composition chimique, comme des mélanges isomorphes des deux silicates $A = H_4Mg_2Al_2SiO_9$, et $S = H_4Mg_2Si_2O_9$. Les autres Chlorites, qui ne sont pas des mélanges isomorphes de ces deux silicates A et S sont appelées *Leptochlorites*.

Les Ch. sont des produits de décomposition d'autres silicates (Feldspath, Augite, Hornblende, Grenat).

Les espèces principales appartiennent aux Orthochlorites.

× **CLINOCHLORE.** — Monoclinique; $a : b : c = 0,5773 : 1 : 2,2771$; $\beta = 90°20'$. Formes communes : $c = \{001\}$, $b = \{010\}$, $t = \{043\}$, $n = \{112\}$, $s = \{11\bar{2}\}$, $m = \{11\bar{1}\}$. Cristaux pyramidaux par suite de la prédominance de *t*, *s*, *n*, ou tabulaires suivant $c = \{001\}$; cette dernière forme est la plus habituelle (fig. 661). En général les cristaux ressemblent à la combinaison d'une pyramide hexagonale avec la base. Angles : $(00\bar{1}) : (11\bar{2}) = 66°32'$; $(001) : (043) = 71°46'$; $(001) : (112) = 66°3'$; $(00\bar{1}) : (11\bar{1}) = 77°53'$. Macles très fréquentes suivant deux plans différents : 1° Suivant un plan perpendiculaire à (001) et parallèle à l'arête $c : n$ (*Macle du Mica*, voir Biotite), et 2° suivant la base $c = (001)$ (*Macle de la Pennine*). Dans les premières macles le plan d'assemblage peut être le plan de macle

lui-même ou la base. On observe aussi des macles par pénétration d'après la première loi : trois individus se compénètrent mutuellement de façon à ce que les bases qui sont souvent striées perpendiculairement à l'arête $c : t$, se disposent dans un même plan (fig. 662). Clivage parfait suivant $c = \{001\}$; D. = 2; P.S. = 2,5 à 2,8. Eclat vitro-gras, nacré sur la face c; vert-poireau,

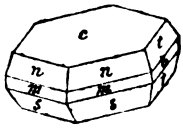


Fig. 661.

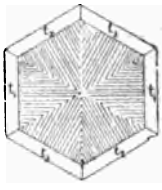


Fig. 662.

vert-bleuâtre ou noirâtre; transparent. Le plus souvent optiquement +. P. A. ‖ (010); B_a fait un angle de 12 à 15° avec la normale à (001). $2E_a = 10$ à 86°; $n_\alpha = 1,585$; $n_\beta = 1,588$; $n_\gamma = 1,596$. Pléochroïsme prononcé.

C. ch. : S_1A_1 à S_2A_5 (30 % SiO_2 environ). Une petite partie du magnésium est toujours remplacée par du fer. Au Ch. le C. blanchit et fond difficilement en un émail jaune-grisâtre. L'acide sulfurique l'attaque facilement.

On trouve le C. en cristaux dans les fissures des Schistes chloriteux (Tyrol, Piémont, Achmatowsk dans l'Oural, West-Chester en Pensylvanie, etc.) et en grains ou en feuillets lamellaires dans la masse elle-même de ces roches.

Pennine. — (Du nom des *Alpes Pennines.*) — Isomorphe avec le Clinochlore. Formes ordinaires $c = \{001\}$, $v = \{132\}$, $i = \{10\bar{1}\}$, (fig. 663). Les cristaux ressemblent à la combinaison d'un rhomboèdre, simulé par les faces v et i, avec la base c. Des pyramides et des prismes de front très peu inclinés sur l'axe vertical donnent quelquefois aux cristaux l'aspect de rhomboèdres très aigus tronqués par c. Macles fréquentes suivant c. Clivage parfait suivant (001). D. = 2 ½, P.S. = 2,6 à 2,8. Eclat nacré sur la face c. Translucide. Optiquement + ou −; P.A. ‖ (001); $2E_a = 0$ ou très petit; $n_\alpha = 1,576$; $n_\gamma = 1,577$ à 1,579. Fortement pléochroïque : les plaques ⊥ c sont brunes ou rouge hyacinthe, celles ‖ c vert-émeraude par transparence. C. ch. : S_5A_2 à S_1A_1 (34 % SiO_2 environ). Ferrifère; au Ch. elle s'exfolie, blanchit et fond en un émail blanc-jaunâtre. L'acide chlorhydrique bouillant la décompose. On trouve la P. en beaux cristaux dans des Serpentines (Rymphischwänge près de Zermatt dans le Valais), dans des Schistes serpentineux (Binnenthal) etc.; en masses compactes vert-olive ou vert-pistache (*Pseudophite*) dans un Gneiss au mont Zdjar en Moravie.

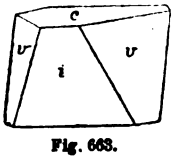


Fig. 663.

Prochlorite ou Ripidolite — Probablement isomorphe avec le Clinochlore. Lamelles hexagonales en apparence, groupées en éventail ou en boule, ou empilées en forme de bourrelets contournés; on l'observe aussi en masses tendres

écailleuses ou terreuses, et sous forme d'un enduit pulvérulent tapissant des cristaux de Feldspath, de Quartz, etc. Clivage parfait suivant (001). D. = 1; P.S. = 2,78 à 2,95. Eclat nacré faible; vert-noirâtre ou vert-poireau. Pléochroïsme faible C. ch. : S_2A_5 à S_5A_7 (27 °/₀ SiO_2 environ). La P. est souvent riche en fer; elle fond difficilement sur les bords au Ch. Les acides la décomposent. On la trouve dans les fissures des Schistes cristallins, et elle constitue avec le Clinochlore un élément essentiel des Schistes chloriteux.

La **Corundophilite** (S_3A_7 à S_1A_4) qui se trouve avec le Corindon à Ashville (Caroline du Nord), et l'**Amésite** (S_1A_4 à A) qu'on rencontre sur le Diaspore à Chester (Massachusetts) sont des minéraux rares.

Parmi les Leptochlorites qui comptent un grand nombre de variétés peu importantes, nous mentionnerons la **Cronstedtite**, silicate hydraté de fer (17 à 32 °/₀ SiO_2); D. = 2 ½; P. S. 3,3 à 3,5; qui se rencontre en cristaux noir-foncé, d'apparence rhomboédrique, et en masses réniformes à structure fibro-radiée ou lamellaire, dans les filons métallifères de Przibram en Bohême; et la **Thuringite**, silicate hydraté de fer et d'alumine (23 °/₀ SiO_2 environ), D. = 2 à 2 ½, P. S. = 3,2, qui forme des masses vertes à structure finement grenue ou écailleuse dans des Schistes argileux de Thuringe et du Fichtelgebirge.

A la suite de la Famille des Micas se place celle de la Serpentine, *du* Talc *et du* Kaolin.

SERPENTINE. — Amorphe ou cryptocristalline; se présente en masses compactes ou grenues, et en agrégats à structure lamellaire ou fibreuse. Cassure conchoïdale, écailleuse ou fibreuse. D. = 3 à 4; P. S. = 2,5 à 2,7. Vert-jaunâtre, grise, jaune, brune ou rouge. Translucide ou opaque. Eclat gras très faible. Les variétés grenues montrent entre les Nicols croisés la polarisation caractéristique des agrégats biréfringents. Les lames minces de S. fibreuse s'éteignent parallèlement aux fibres.

C. ch. : $H_4Mg_3Si_2O_9$ (41 à 43 °/₀ SiO_2). Souvent ferrifère, quelquefois nickelifère. Au Ch. elle blanchit et fond difficilement sur les bords. Elle est attaquée par l'acide chlorhydrique et surtout par l'acide sulfurique.

La S. est un produit de décomposition des silicates de magnésie (Olivine, Enstatite, Pyroxène, Amphibole, etc.), et des roches formées exclusivement ou en grande partie par ces minéraux (Péridotites, Gabbros, etc.) ont souvent été transformées en S. Elle se présente en masses stratifiées, surtout dans les Schistes cristallins : Gneiss, Amphibolites, Schistes talqueux, Micaschistes etc., et quelquefois aussi en amas ou en filons.

Les variétés principales sont les suivantes : *S. noble*, pure, présentant une couleur uniforme jaune ou verte, de différentes nuances; cassure conchoïdale, faiblement luisante; translucide. Se trouve dans le Calcaire grenu, et en pseudomorphoses d'Olivine, d'Augite et de Hornblende. — *S. commune*, impure, de couleur sombre, opaque ou à peine translucide; c'est la variété la plus répandue. — *Antigorite*, masses à structure schisteuse, transparentes; vert-noirâtre, vert poireau par transparence; n_β = 1,574. D. = 2 ½; P. S. = 2,62; elle se trouve au Val Antigorio (Piémont). — *Chrysotile*, plaques composées de fibres flexibles,

parallèles, plus ou moins fines, et qui sont perpendiculaires au plan de la plaque. Eclat soyeux, verte de différentes nuances, translucide, biréfringente; on la trouve dans des fissures de la S. ordinaire à Reichenstein en Silésie, à Zöplitz en Saxe, à Baltimore aux Etats-Unis, et surtout au Canada et au Cap de Bonne Espérance. Une partie des minéraux connus sous le nom de *Cuir de montagne*, *Carton de montagne*, etc., ne sont que du Chrysotile à fibres enchevêtrées.

Les belles variétés de S. servent à la confection d'objets d'ornement. En désagrégeant le Chrysotile on obtient l'*Asbeste serpentineuse*, substance très flexible, tenace, incombustible, et très mauvais conducteur de la chaleur, dont les usages industriels sont nombreux. C'est le Canada et le Cap de Bonne Espérance qui en fournissent la plus grande partie.

TALC. — Probablement monoclinique; lamelles à contours hexagonaux ou rhombiques, et masses à structure lamellaire ou écailleuse. Clivage très parfait suivant (001). Tendre, onctueux, les feuillets sont flexibles sans élasticité. D. = 1; P. S. = 2,69 à 2,80. Incolore ou vert pâle de différentes nuances; éclat nacré ou gras; translucide; optiquement —; P. A. ⊥ (001); B_a ⊥ (001). Indice moyen n = 1,55; $2V_a = 70°$.

C. ch. : $H_2Mg_3Si_4O_{12}$ (63 °/₀ SiO_2 environ); ferrifère. Au Ch. s'exfolie, jette un vif éclat et devient très dur mais ne fond pas. Inattaquable par les acides.

La T. est probablement un minéral de formation secondaire; il se trouve en grandes lames et en masses finement écailleuses (*Pierre ollaire*) dans les fissures des Schistes cristallins (mont Greiner en Tyrol, St Gothard, Cornouailles, etc.); il est extrêmement répandu comme élément constitutif de certains Schistes désignés pour cette raison sous le nom de *Schistes talqueux* (Alpes, Oural, Canada). On l'observe aussi en rognons ou en pseudomorphoses à structure compacte ou finement grenue (*Stéatite*); on trouve cette variété à Göpfersgrün (Fichtelgebirge), à Briançon (France), à Lowell (Massachusetts), etc.

Le T. réduit en poudre fine sert dans l'industrie pour adoucir le frottement dans les machines, il entre dans la composition de certaines couleurs, du verre-opale, etc. La Stéatite est utilisée pour la sculpture d'un grand nombre d'objets, pour la fabrication de becs à gaz, etc.

Ecume de mer. — Amorphe; se présente en rognons finement poreux. D. = 2 à 2 1/2; P. S. = 2,5; mais elle flotte sur l'eau à cause de sa porosité. Blanc-jaunâtre ou grisâtre. Terne, opaque, happant à la langue. C. ch. : $H_4Mg_2Si_3O_{10}$ (54 °/₀ SiO_2). Au Ch. se contracte, durcit, et fond sur les bords. L'acide chlorhydrique la décompose. On trouve l'E. dans des filons traversant la Serpentine (Asie Mineure), mais surtout sous forme de rognons arrondis dans les dépôts d'alluvion à Eskishehir et dans d'autres localités d'Anatolie; elle y fait l'objet d'exploitations assez importantes.

Gymnite. — Amorphe ou cryptocristalline. Silicate hydraté de magnésie (41 °/₀ SiO_2). D. = 2 à 3; P. S. = 2 à 2,3. Jaune brunâtre, verdâtre ou rougeâtre.

On la trouve dans la Serpentine (Bare-Hills près de Baltimore, Kraubat en Styrie, etc.), et dans des Calcaires et Dolomies saccharoïdes (Fleimsthal en Tyrol, Passau en Bavière, etc.).

Saponite. — (Du latin *sapo* = savon). — Amorphe, silicate hydraté de magnésie contenant 6 à 10 °/₀ d'alumine. Tendre; P. S. = 2,26. Facilement décomposée par l'acide sulfurique; on la trouve dans la Serpentine en Cornouailles, etc.

Garniérite. — Masses stalactitiques vert-pomme. D. = 2 à 3; P. S. = 2,27; happe à la langue. C. ch. : silicate hydraté de magnésium et de nickel; certaines variétés répondent à la formule $H_2(Mg,Ni)SiO_4$.

On trouve la G. dans des filons traversant une Serpentine nickelifère à Nouméa (Nouvelle Calédonie), on l'observe aussi en gîtes dans le Douglas Cy (Orégon). C'est un minerai de nickel très important; le métal qu'on extrait est ordinairement très pur. La *Genthite*, la *Röttisite*, etc., ont une composition analogue à celle de la Garniérite.

KAOLIN. — (Du chinois *Kao-ling*.) — Monoclinique. Petites lamelles à contours hexagonaux ou rhombiques; se présente ordinairement en masses à structure finement lamellaire, compacte ou terreuse. Clivage parfait suivant (001); flexible sans élasticité. Cassure lamelleuse, rugueuse ou terreuse, tendre et friable, doux au toucher, happe légèrement à la langue. D. = 1; P. S. = 2,2 à 2,6; blanc pur, blanc-jaunâtre, verdâtre ou rougeâtre, terne; les lamelles cristallines offrent un éclat nacré. Ordinairement opaque.

C. ch. : $H_4Al_2Si_2O_9$ (46,4 °/₀ SiO_2; 39,7 °/₀ Al_2O_3; 13,9 °/₀ H_2O). Donne de l'eau vers 770°; infusible; l'acide chlorhydrique et l'acide nitrique ne l'attaquent presque pas; l'acide sulfurique bouillant le décompose complètement. Il devient plastique quand on l'additionne d'eau.

Le K. se présente en amas stratifiés, en filons et en imprégnations; c'est un produit de décomposition d'autres Silicates, surtout des Feldspaths, et les roches dans la composition desquelles ce minéral entre pour une grande part (Gneiss, Granites, Syénites, Porphyres quartzifères, Pechstein, etc.), ont produit quelquefois des gisements importants de K. St Yrieix (Haute Vienne), Rönne dans l'île de Bornholm (Danemark), Passau (Bavière), Zettlitz près de Carlsbad (Bohême), Meissen (Saxe), Cornouailles, Tong-Kang et Sy-Kang (Chine), etc.

Variétés : *Nacrite*; K. pur cristallisé; se présente en lamelles empilées ou réunies en forme d'éventail, et en masses à structure finement écailleuse. Blanc-pur ou blanc-jaunâtre; éclat nacré très prononcé; translucide. Optiquement —. P.A. ⊥ (010); B_e presque ⊥ au plan de clivage (001). 2E = 90° environ. On trouve la N. en nodules dans le terrain houiller à Fins (Département de l'Allier); en cristaux dans des filons métallifères (Freiberg en Saxe, Pikes-Peak dans le Colorado), en poudre cristalline dans l'île d'Anglesey (Angleterre), etc. — Le *Kaolin proprement dit* comprend les variétés terreuses. — *Lithomarge*, masses compactes,

onctueuses au toucher; blanches, jaunes ou rouge-chair. D. = 1 à 3; P.S. = 2 ½ environ. Elle contient souvent un peu de fer et de magnésie. On la rencontre dans des fissures, des filonets et des poches des roches riches en Feldspath.

Nontronite. — Probablement isomorphe avec le Kaolin; se présente en masses compactes; elle est tendre et grasse au toucher. P.S. = 2. Jaune-paille ou vert-serin. C. ch. : $H_4Fe_2Si_2O_9$. Infusible; décomposée par les acides. Nontron (Dordogne), Andreasberg.

Pyrophyllite.— Probablement rhombique. Se présente en agrégats à structure lamello-radiée. Clivage très parfait suivant un plan parallèle à la direction d'allongement des lamelles. D. = 1; P. S. = 2,8 à 2,9. Flexible; éclat nacré; vert-pomme, blanc-verdâtre ou jaunâtre; translucide; biréfringente; $B_a \perp$ au plan de clivage. C. ch. : $HAlSi_3O_6$ (59 % SiO_2). Donne de l'eau dans le matras; s'exfolie au Ch. et se transforme en une masse blanche infusible; cette propriété lui a fait donner son nom. Difficilement décomposée par l'acide sulfurique. On la trouve dans des Schistes à Ottrélite aux environs de Vielsalm, dans les fissures et les filons de certains Granites à Beresowsk dans l'Oural, etc.; elle se présente aussi sous forme de masses compactes (*Agalmatolite, Pagodite*, etc.), qui sont utilisées en Chine pour la sculpture de statuettes et d'autres petits objets.

Au Kaolin se rattachent un grand nombre de minéraux mal définis, qui ne sont le plus souvent que des mélanges de Kaolin et d'autres minéraux (Quartz, Limonite, Calcite, Magnésite, etc.); le plus important d'entre eux est l'**Argile** (*Argiles smectiques, réfractaires, plastiques, Terre à foulon, Terre de pipe*, etc.); quelques uns, comme la **Dillnite**, sont des mélanges de Kaolin et d'hydroxydes d'aluminium, et enfin un grand nombre d'autres (**Halloysite**, etc.) sont dus à une hydratation du Kaolin, ou à un remplacement isomorphe de l'aluminium par le fer (**Bol**) ou le chrome.

Groupe C. — Silicates intermédiaires.

NÉPHÉLINE. — Du grec νεφελή = nuage.) — Hexagonale : $a : c = 1 : 0,8390$. Formes dominantes : $a = \{10\bar{1}0\}$, $v = \{10\bar{1}1\}$, $c = \{0001\}$. Cristaux prismatiques courts (fig. 664). La N. se présente aussi en masses grenues et en imprégnations. Clivages imparfaits suivant *a* et *c*. Cassure conchoïdale. D. = 5 ½ à 6; P.S. = 2,6; éclat vitreux sur les faces, gras dans la cassure. Incolore, blanche, grisâtre, verdâtre, jaunâtre, vert-blanchâtre ou rougeâtre. Translucide ou transparente. Optiquement —; $n_\omega = 1,5427$, $n_\varepsilon = 1,5378$.

C. ch.: $Na_8Al_8Si_9O_{34}$ (45 % SiO_2); le sodium est ordinairement remplacé en partie par du potassium et par des traces de calcium. Fond assez difficilement en un verre bulleux. Devient nébuleuse quand on la plonge dans l'acide nitrique (d'où son nom); complètement décomposée par l'acide chlorhydrique; cette solution laisse déposer par évaporation, de petits cubes de chlorure de sodium. Sous l'influence des agents de décomposition naturels

la N. se transforme facilement en Zéolites ou en divers produits micacés : la *Gieseckite* de l'Igaliks Fjord au Groenland, la *Liebenérite* de Predazzo, etc.

La N. se trouve en cristaux implantés et groupés en druses dans les blocs rejetés par les volcans (Lac de Laach, Somma, etc.), et sous forme de cristaux ordinairement microscopiques elle constitue un des éléments de diverses roches volcaniques : Néphélinites, Phonolithes, Basaltes, Trachytes, etc.; on l'observe aussi en grains irréguliers, colorés, à éclat huileux (*Eléolite*, du grec ἔλαιον = huile) dans des roches éruptives anciennes(Syénites à Eléolite du sud de la Norvége, de Transylvanie, etc.).

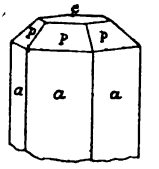


Fig. 664.

Les figures de corrosion semblent indiquer que la N. appartient en réalité à l'hémimorphie trapézoédrique qui résulte de la superposition de l'hémiédrie (fig. 163) et de l'hémimorphie (fig. 166); de plus, les cristaux simples en apparence seraient des macles complexes suivant les faces (0001) et $(10\bar{1}0)$.

A la Néphéline se rattachent deux autres minéraux hexagonaux, la **Cancrinite**, silicate hydraté de soude et d'alumine contenant environ 37 °/₀ de silice, qu'on trouve dans certaines Syénites (Litchfield dans l'Etat de Maine, Miask, Norvège); et la **Davyne**, silicate complexe de soude, de potasse, de chaux et d'alumine, contenant du chlore, de l'acide sulfurique et de l'acide carbonique. Ce minéral accompagne la Néphéline dans les blocs de la Somma.

Les quatre minéraux qui suivent présentent par leur forme cristalline et par leur composition chimique certaines analogies avec les Grenats.

Sodalite. — Cubique. Forme dominante {110} ordinairement déformé; parfois aussi {100} et {111}. Macles par pénétration suivant (111) assez fréquentes. La S. se présente aussi en masses grenues. Clivage parfait suivant {110}. Cassure conchoïdale ou inégale; D. = 5 ½; P. S. = 2,13 à 2,3. Incolore, blanc-jaunâtre, vert-pâle ou bleuâtre. Eclat vitreux, gras dans la cassure; translucide; n = 1,483. C. ch. : Na_4 (Al.Cl) Al_2 $(SiO_4)_5$ (37 °/₀ SiO_2; 7, 3°/₀ Cl). Fond avec plus ou moins de difficulté en un verre bulleux et limpide; facilement décomposée par les acides. La S. se trouve en cristaux implantés dans les blocs rejetés par les Volcans (Somma, etc.), et en grains enchâssés dans certaines Syénites à Eléolite. (Ditró en Transylvanie, Miask dans l'Oural, Norvège, etc.). On l'observe aussi, mais plus rarement, en cristaux microscopiques dans des Phonolithes, Trachytes, etc.

Noséane. — Cubique. Se présente rarement en cristaux, dont les formes habituelles sont {110}, {100} et {111}; on la trouve ordinairement en grains irréguliers et en agrégats grenus. Macles par pénétration suivant {111}; clivage parfait suivant {110}; cassure conchoïdale. D. = 5 ½; P.S. = 2,3 à 2,5. Eclat vitreux, gras dans la cassure. Grisâtre, bleu-grisâtre, noire; translucide, n = 1,46; elle offre fréquemment des anomalies optiques. C. ch. : $Na_4(Al.NaSO_4)Al_2(SiO_4)_5$; (36 °/₀ SiO_2; 8 °/₀ SO_3). Au Ch. elle se décolore et fond sur les bords en un verre bulleux; elle est décomposée par les acides. On rencontre la N. en cristaux

implantés dans les blocs rejetés par les volcans, et en cristaux le plus souvent microscopiques enchâssés dans des roches volcaniques (Phonolithes, Basaltes, etc.) de l'Eifel et d'autres contrées.

Haüyne. — Cubique. Ressemble parfaitement à la Noséane, mais est ordinairement colorée en bleu d'azur ou en vert bleuâtre; elle est rarement grisâtre, jaunâtre ou brune; $n = 1,496$. C. ch. : $Na_2Ca\,(Al.NaSO_4)\,Al_2\,(SiO_4)_3$; (34 °/₀ SiO_2; 10,6 °/₀ CaO; 11,2 SO_3). Au Ch. elle se décolore et fond; les acides la décomposent. On la trouve avec la Noséane dont on ne peut la distinguer que par sa teneur en chaux.

La Haüyne et la Noséane se présentent dans les sections minces sous forme de lames carrées, octogones ou hexagonales, renfermant beaucoup d'inclusions en grains disposées en files entrecroisées; les bords de ces sections offrent généralement une zone opaque due à l'altération.

Outremer ou Lapis-Lazuli. — Cubique; forme dominante {110}; les cristaux sont rares; il se présente ordinairement en agrégats grenus ou en imprégnations. Clivage imparfait suivant {110}. D. = 5 ½; P. S. = 2,4; éclat vitro-gras; translucide ou opaque; bleu d'azur. C. ch. : $(Na_2,Ca)_3\,[Al.(NaSO_4,NaS_3,Cl)]Al_3(SiO_4)_3$; (40 à 45 °/₀ SiO_2; 1 à 4 °/₀ S.). Au Ch. il se décolore et fond en un verre bulleux; l'acide chlorhydrique le décompose avec dégagement d'hydrogène sulfuré. On trouve l'O. en masses compactes renfermant de petits cristaux de Pyrite dans les Calcaires grenus (Badakaschan en Tartarie, lac Baïkal, Cordilliére d'Ovalle au Chili, Perse, Thibet, etc.); il sert à l'incrustation de meubles de luxe, à la confection d'objets d'ornement, etc.; on l'employait autrefois à la préparation du bleu d'outremer naturel.

CORDIÉRITE. — Rhombique; $a : b : c = 0,587 : 1 : 0,588$. Formes ordinaires : $m = \{110\}$, $b = \{010\}$, $c = \{001\}$; on observe aussi $o = \{011\}$,

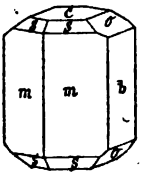


Fig. 665.

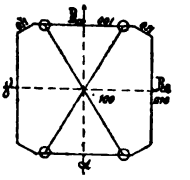


Fig. 666.

$s = \{112\}$, (fig. 665). Cristaux prismatiques trapus. Angles (110) : $(1\bar{1}0) = 60°50'$; (011) : $(0\bar{1}1) = 58°22'$. Macles par pénétration suivant {110}. Clivage distinct suivant (010). Cassure conchoïdale ou inégale. D. = 7; P. S. = 2,6. Eclat vitreux, passant au gras dans la cassure. Translucide ou transparente. Bleu-violet, bleu-grisâtre, verdâtre ou jaunâtre. Optiquement —. P.A. ∥ (100); $B_a \perp (001)$ (fig. 666). Indices et angles des axes optiques variables; $n_\alpha = 1,532$ à $1,597$; $n_\beta = 1,536$ à $1,597$; $n_\gamma = 1,539$ à $1,599$. $2V_a = 40°$ à $84°$. Fortement pléochroïque (voir page 153).

C. ch. : $(HO)_2(Mg,Fe)_4Al_2(Si_2O_7)_3$, (49 à 50 °/₀ SiO_2). Difficilement fusible sur les bords; presque inattaquable par les acides.

La C. se trouve en cristaux dans des Gneiss et dans certains roches éruptives (Granites, Porphyres quartzifères, Andésites, etc.). Bodenmais en Bavière; Arendal; Krageroë et Tvedestrand en Norvège; Orijärvi en Finlande; Haddam dans le Connecticut; Cap de Gatès en Espagne, etc. On l'observe également dans les blocs rejetés par les volcans (lac de Laach), dans la zone de contact de certains Schistes argileux et Grès, et dans des alluvions (Brésil, Ceylan).

La C. est très souvent transformée en produits micacés (Talc, Serpentine, Chlorite, etc), dont quelques-uns ont été désignés par des noms spéciaux : *Pinnite, Fahlunite*, etc. Les belles variétés bleues de C. sont employées comme pierres précieuses.

Mélilite. — Tétragonale : $a : c = 1 : 0,4548$. Formes ordinaires : {100}, {001} et {110}. Cristaux tabulaires suivant {001} ou prismatiques suivant l'axe vertical; quelquefois très allongés ou bacillaires. Clivage distinct suivant (001). D. = 5; P.S. = 2,9 à 3,1. Blanc-jaunâtre ou jaune de miel passant au brun; éclat vitreux ou gras; translucide sur les bords ou presque transparente; optiquement —; $n_\omega = 1,6339$; $n_\varepsilon = 1,6291$ (rayons jaunes). Les variétés colorées de M. sont pléochroïques. Les sections minces à peu près perpendiculaires à (001) présentent des stries plus ou moins serrées, parallèles à l'axe vertical.

C. ch. : Mélange isomorphe des deux silicates $(Ca,Mg)_4 Si_3O_{10}$ et $Ca_3Al_2Si_3O_{10}$ (38 à 41 % SiO_2). Au Ch. elle fond plus ou moins difficilement en un verre jaune pâle. Les acides la décomposent. La M. en cristaux microscopiques, constitue un élément de certains Basaltes (*Basalte à Mélilite*), etc.; on la trouve en cristaux plus grands dans les druses et les pores de ces Basaltes : Herchenberg (Province Rhénane), Capo di Bove près de Rome; on la rencontre aussi dans des scories de hauts fourneaux.

Gehlénite. — Isomorphe avec la Mélilite ; cristaux tabulaires ou prismatiques. Clivage parfait suivant (001). D. = 5 ½; P. S. = 3. Vert-grisâtre ou brunâtre. C. ch. $Ca_3Al_2Si_3O_{10}$; difficilement fusible; décomposée par les acides. La G. se trouve dans des Calcaires de contact (Monzoni, Predazzo) et dans des scories de hauts fourneaux.

Groupe D. — Métasilicates.

Perowskite. — Cristaux cubiques en apparence, offrant les formes {100}, {110} et {111}; mais l'examen optique et l'étude des figures de corrosion ont démontré que ce minéral est rhombique, et que sa forme cubique est due à des groupements complexes de plusieurs cristaux. Clivage suivant (100). D. = 5 ½; P.S. = 4. Éclat adamantin passant à l'éclat métallique; noire, rarement brun-rougeâtre ou jaune de miel. Opaque ou translucide; n = 2,35. C. ch. : $CaTiO_3$; infusible, inattaquable par les acides. On trouve la P. dans des Schistes chloriteux (Zermatt dans le Valais; Pfitsch en Tyrol; Slatoust dans l'Oural; Magnet-Cove dans l'Arkansas), et en cristaux microscopiques dans les Basaltes à Melilite.

La plupart des minéraux du groupe des Métasilicates appartiennent à la Famille des Pyroxènes *ou à celle des* Amphiboles.

PYROXÈNES.

Les Pyroxènes — (Du grec πῦρ = feu et ξένος = hôte) — appartiennent aux trois systèmes rhombique, monoclinique et triclinique; ils se clivent tous avec plus ou moins de facilité suivant le prisme vertical {110} dont les faces font un angle de 87° environ. Leur composition chimique répond en général à la formule $R''_2(SiO_3)_2$ dans laquelle $R'' = Mg, Ca, Fe, Mn, Zn$; pourtant quelques Pyroxènes doivent être considérés comme des mélanges isomorphes des silicates $R''SiO_3$ et $Mg(Al,Fe)_2SiO_6$, et d'autres ont pour formule générale $R'R'''(SiO_3)_2$ où $R' = Li, Na$ et $R''' = Al, Fe$. Nous groupons les Pyroxènes en trois séries, suivant leur forme cristalline.

Série rhombique.

ENSTATITE.—(Du grec ἐνστάτης = adversaire.) — $a : b : c = 0,9713 : 1 : 0,5700$. Formes ordinaires : $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $m = \{110\}$, $r = \{223\}$, $v = \{023\}$, $k = \{012\}$, $s = \{016\}$. Cristaux colonnaires suivant l'axe vertical (fig. 667); quelquefois tabulaires suivant $a = \{100\}$ ou $b = \{010\}$. Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 88°20'$; $(010) : (023) = 34°28'$; $(010) : (012) = 74°4'$, Clivage

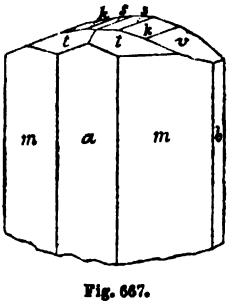


Fig. 667.

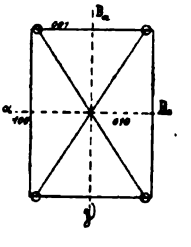


Fig. 668.

distinct suivant {110}, imparfait suivant (010). D. = 5 ½; P. S. = 3,1 à 3,2. Blanc-grisâtre, jaunâtre, verdâtre, vert foncé ou brune; éclat vitreux, vitro-nacré sur les faces de clivage; translucide ou opaque. Optiquement +; P. A. ∥ (010) : $B_a \perp (001)$; (fig. 668). Les indices de réfraction et les angles des axes optiques sont variables; $n_\alpha = 1,656$; $n_\beta = 1,659$; $n_\gamma = 1,665$; $2V_a = 70°$ (pour l'E. du Mont Zdjar).

C. ch. : $(Mg,Fe)_2(SiO_3)_2$, (jusqu'à 5 % FeO); infusible, inattaquable par les acides.

On trouve l'E. en très grands cristaux, pouvant même atteindre 40 centimètres de longueur, dans les filons d'Apatite de Kjörrestad en Norvège, et en cristaux plus petits dans une Serpentine au Mont Zdjar en Moravie, dans les Météorites et enfin en grains ou en masses irrégulières dans certaines roches éruptives : Gabbros, Péridotites, Lherzolithes, etc.

BRONZITE. — Isomorphe avec l'Enstatite; se présente ordinairement en grains irréguliers ou en masses grenues. Clivage distinct suivant {110}, parfait suivant {010}. D. = 5 ½; P. S. = 3,2 à 3,3. Eclat vitreux ou gras, soyeux avec des reflets bronzés sur les faces de clivage parallèles à (010), qui sont ordinairement courbes, ondulées et striées. Brun de girofle, brun-tombac, jaunâtre ou verdâtre; translucide; P. A. ‖ (010). Optiquement +, $B_a \perp$ (001) pour les variétés renfermant moins de 10 % FeO; optiquement —, $B_a \perp$ (100) pour les variétés plus riches en fer. L'angle des axes optiques mesuré autour de l'axe vertical comme bissectrice, s'accroît fortement avec la teneur en fer; il est de 90° lorsque la B. contient environ 10 % FeO. Faiblement pléochroïque.

C. ch. : $(Mg,Fe)_2(SiO_3)_2$, (5 à 15 % FeO). Difficilement fusible, inattaquable par les acides.

La B. se trouve surtout en masses lamellaires dans certaines roches éruptives (Gabbros, Péridotites, etc.), et dans les Serpentines provenant de la décomposition de ces roches; on l'observe aussi dans les Météorites, dans les inclusions d'Olivine grenue renfermées dans les Basaltes, etc. Ce minéral s'altère facilement par hydratation et donne naissance à des produits serpentineux qu'on désigne parfois sous les noms de *Bastite* (de la Baste dans le Hartz), *Diaclasite*, etc.

HYPERSTHÈNE. — (Du grec ὑπέρ = au-dessus et σθένος = force.) — Isomorphe avec l'Enstatite; cristaux prismatiques, trapus ou aplatis suivant {010}. Formes a = {100}, b = {010}. m = {110}, u = {232}, k = {012}, i = {201} etc. (fig. 669). Elle se présente ordinairement en agregats grano-

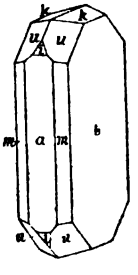


Fig. 669.

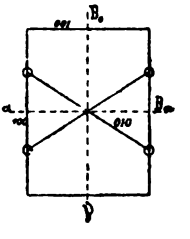


Fig. 670.

bacillaires. Clivage peu distinct suivant {110}, parfait suivant (010). D. = 6; P. S. = 3,3 à 3,5. Noir de poix, brun-noirâtre ou vert-noirâtre; éclat vitreux ou gras, métalloïde sur les faces de clivage suivant (010); on observe parfois sur ces faces des reflets rouge de cuivre qui sont probablement dus à l'interposition de fines lamelles d'un autre minéral. Translucide quand elle est réduite en écailles minces. Optiquement —; $B_a \perp$ (100) (fig. 670);

$n_\alpha = 1,692$; $n_\beta = 1,702$; $n_\gamma = 1,705$; $2V_a = 50°$. Fortement pléochroïque.

C. ch. : $(Mg,Fe)_2(SiO_3)_2$, (15 à 34 °/₀ FeO). Fond plus ou moins facilement en une perle vert-noirâtre magnétique; inattaquable par les acides.

L'H. se trouve en cristaux dans le gîte de Pyrrhotine de Bodenmais (Bavière), dans les blocs et les cendres rejetés par les volcans (lac de Laach, cendres provenant du Krakatau, île d'Hawaï), dans les vacuoles des roches andésitiques (Aranyer-Berg en Hongrie) etc.; en masses lamellaires dans les Pegmatites du Gabbro de l'île St Paul (côte du Labrador), et comme élément accessoire dans des roches éruptives basiques.

Remarque. — Pour faire ressortir l'analogie qui existe entre les formes cristallines des Pyroxènes rhombiques et monocliniques, il faut orienter les premiers de manière à ce que l'angle aigu du prisme de clivage se trouve en face de l'observateur; le rapport des axes pour l'Enstatite serait alors $a : b : c = 1,032 : 1 : 0,587$.

Série Monoclinique.

On peut diviser les minéraux de cette série en Pyroxènes exempts d'alumine (Diopside), Pyroxènes aluminifères (Augite) et Pyroxènes alcalinifères (Jadéïte, Spodumène, Ægirine).

DIOPSIDE. — (Du grec δία = à travers, et ὄψις = vue.) — $a : b : c = 1,092 : 1 : 0,589$. Formes communes : $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $t = \{001\}$, $m = \{110\}$, $u = \{111\}$, $o = \{22\bar{1}\}$, $p = \{1\bar{1}1\}$; cristaux prismatiques suivant l'axe vertical (fig. 671), présentant une section carrée par suite de la prédominance des formes a et b. Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 92°50'$; $(110) : (001) = 79°9'$; $(111) : (010) = 65°45'$; $(22\bar{1}) : (010) = 47°54'$. Macles suivant (100), quelquefois répétées. Le D. se présente aussi en agrégats à structure lamellaire ou grenue.

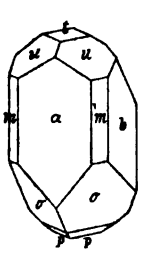


Fig. 671.

Clivage distinct suivant $\{110\}$; cassure conchoïdale; D. = 5 à 6; P.S. = 3,3. Incolore, vert-pâle ou vert d'herbe. Translucide ou transparent. Optiquement +; P. A. ∥ (010); B_a fait avec l'axe vertical un angle de 39° environ; cet angle ainsi que les indices de réfraction et l'angle des axes optiques varient avec la teneur en fer; $n_\alpha = 1,6727$; $n_\beta = 1,6798$; $n_\gamma = 1,7026$; $2V_a = 59°$ (D. d'Ala). Faiblement pléochroïque. C. ch. : $Ca(Mg,Fe)(SiO_3)_2$, (54 à 56 °/₀ SiO_2, 1 à 5 °/₀ FeO). Difficilement fusible; inattaquable par les acides. Sous l'influence des agents atmosphériques le D. se transforme dans la nature en Serpentine et en Talc.

On trouve le D. en beaux cristaux implantés dans les fissures des Schistes cristallins, des Serpentines, etc. (Zillerthal; Mussa; Ala en Piémont; Achma-

towsk dans l'Oural, etc.); en cristaux moins nets et en agrégats bacillaires ou grenus dans des Calcaires et d'autres roches de contact. Il constitue parfois un élément accessoire de certains Gneiss et Amphibolites; on l'observe aussi dans quelques gîtes métallifères (Nordmarken en Suède).

Variétés : *Salite* et *Malacolite*, se présentent ordinairement en agrégats bacillaires ou lamellaires, blancs, vert pâle ou vert sombre; elles sont quelquefois exemptes de fer; Sala en Suède, Arendal en Norvège, lac Baïkal en Sibérie, etc. On les observe aussi dans des Gneiss et des Amphibolites.

Hedenbergite, vert-noirâtre ou noire. C. ch. : $CaFe\,(SiO_3)_2$, (29 ½ % FeO); on la rencontre en masses lamellaires dans le Calcaire du gîte métallifère de Tunaberg en Suède.

La *Schefferite* est un D. manganésifère (Langban en Suède), et la *Jeffersonite* un D. contenant du manganèse et du zinc (Franklin Furnaces dans le New Jersey).

Les variétés transparentes douées de belles couleurs sont utilisées pour la bijouterie.

AUGITE. — (Du grec αυγή = éclat.) — Isomorphe avec le Diopside; formes communes $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $m = \{110\}$, $p = \{11\bar{1}\}$, $u = \{111\}$, $o = \{22\bar{1}\}$, $v = \{221\}$, $z = \{021\}$, $d = \{10\bar{1}\}$. Cristaux prismatiques trapus

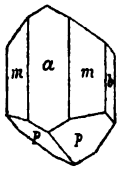


Fig. 672.

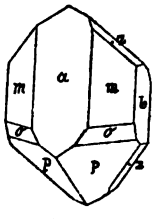


Fig. 673.

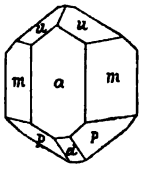


Fig. 674.

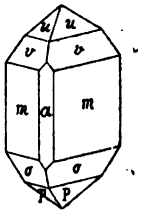


Fig. 675.

suivant l'axe vertical, et ordinairement aplatis suivant $\{100\}$ (fig. 672, 673, 674 et 675). Macles très fréquentes suivant (100) (fig. 676); on observe

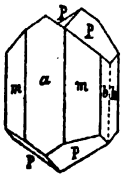


Fig. 676.

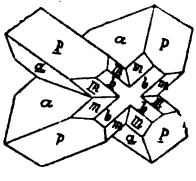


Fig. 677.

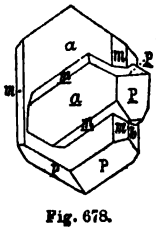


Fig. 678.

aussi mais plus rarement, des macles par pénétration suivant (101) (fig. 677) et suivant une face de la pyramide $\{12\bar{2}\}$ (fig. 678). L'A. se présente aussi en cristaux à arêtes émoussées ou arrondies, et en agrégats grenus.

Clivage distinct mais interrompu suivant $\{110\}$; dans les sections minces à peu près perpendiculaires à l'axe vertical, ce clivage se manifeste par deux

systèmes de fentes s'entrecroisant sous un angle de 87° environ (fig. 679), et dans les lames approximativement parallèles à l'axe vertical par des fentes peu nettes qui sont parallèles à cet axe (fig. 680). Cassure conchoïdale ou inégale. D. = 6; P. S. = 3,3 à 3,5. Eclat vitreux; noir de poix, noir-verdâtre ou vert-olive; translucide ou opaque; dans les coupes minces elle

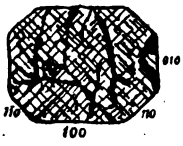


Fig 679.

Fig. 680.

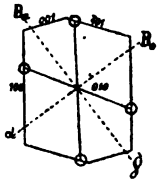


Fig. 681.

est brune ou verdâtre par transparence. Optiquement +; P. A. ‖ (010). B_a fait avec l'axe vertical un angle de 39° environ (fig. 681); les indices de réfraction et l'angle des axes optiques varient légèrement : $n_\alpha = 1,712$; $n_\beta = 1,717$; $n_\gamma = 1,733$; $2V_a = 60$ à 68° (A. d'Auvergne). Faiblement pléochroïque.

C. ch. : mélanges isomorphes des deux silicates : $Ca(Mg,Fe)(SiO_3)_2$ et $(Mg,Fe)(Al,Fe)_2SiO_6$ (45 à 51 °/₀ SiO_2; jusqu'à 8 °/₀ Al_2O_3). Fusible en un verre noir ou vert qui est quelquefois magnétique; la fusibilité augmente avec la teneur en fer; difficilement attaquable par les acides. Dans la nature elle se décompose et se transforme en Chlorite, en Biolite et en Epidote.

L'A. est un élément constitutif d'un grand nombre de roches éruptives : Diabase, Basalte, Mélaphyre, Andésite, etc.; on la trouve aussi en cristaux implantés ou isolés dans les blocs et les cendres rejetés par les volcans (Somma, etc.), dans des roches de contact, dans certains gites métallifères (Arendal en Norvège), dans des Schistes cristallins (*Schistes verts*), et dans les Météorites.

Variétés : *Diallage*. — (Du grec διαλλαγή = différence). — Masses laminaires brunes, vert-grisâtre ou vert-olive, présentant parallèlement à la face (100) une structure finement lamellaire due à des macles polysynthétiques suivant (100), avec interlaminations de Pyroxènes rhombiques. Eclat soyeux, parfois métallique sur la face (100). La D. ressemble quelquefois à la Bronzite mais on l'en distingue aisément par sa fusibilité, et par le fait que ses lamelles ne laissent voir qu'un seul axe optique. D. = 4; P. S. = 3,2 à 3,4. La C. ch. est celle d'un Pyroxène aluminifère; elle contient 8 à 14 °/₀ FeO et 1 à 4 °/₀ Al_2O_3. La D. constitue un élément essentiel des Gabbros (Volpersdorf en Silésie, Harzburg dans le Hartz, etc) et de certaines Péridotites.

Fassaïte. — Cristaux pyramidaux souvent riches en facettes (fig. 675), vert-

pistache ou vert noirâtre. On la trouve dans les fissures et dans la masse même de certains Calcaires de contact (Fassa en Tyrol, etc.).

Omphacite, grains ou agrégats lamello-grenus, vert d'herbe; elle est associée au Grenat et à l'Amphibole dans l'Eclogite (Fichtelgebirge, Carinthie, etc.).

Augite commune; vert-poireau, vert-noirâtre ou noire. Elle se présente en grains enchâssés comme élément essentiel de certaines roches éruptives anciennes (Diabases, Syénites augitiques, etc.); en cristaux à arêtes arrondies dans des Calcaires de contact (Pargas en Finlande; Arendal en Norvège; etc.). — *Coccolite*, forme des masses granulaires blanches, vert-pâle ou vert sombre dans un Calcaire à Arendal.

Augite basaltique, noir de poix, quelquefois faiblement pléochroïque; se présente en cristaux parfois nets mais peu riches en facettes; elle est souvent maclée (fig. 676, 677 et 678). On la trouve en cristaux en châssés dans des roches éruptives récentes (Basaltes, Andésites, etc.) à Boreslaw en Bohême; au Kaiserstuhl dans le Grand-Duché de Bade; en Auvergne; au Vésuve; etc.

Augite sodifère; cette variété qui constitue un terme de transition entre l'Augite et l'Aegyrine est Optiquement —; pléochroïque; la B_a fait un angle d'environ 54° avec l'axe vertical. L'Augite sodifère est très fréquente dans les Phonolithes et les Basaltes.

Aegyrine. — Isomorphe avec le Diopside; formes communes : $a = \{100\}$, $b = \{010\}$, $m = \{110\}$, $h = \{661\}$, $i = \{261\}$, $p = \{11\bar{1}\}$; on observe aussi quelquefois $\{10\bar{1}\}$. Cristaux prismatiques très allongés et aplatis suivant a (fig. 682). Macles fréquentes suivant (100). Clivage suivant m. D. = 6 à 6 ½; P. S. = 3,5. Eclat vitreux; noir-brunâtre ou verdâtre; presque opaque. Optiquement —; P.A. || (010); B_a fait avec l'axe vertical un angle de 8° environ; $n_\beta = 1,799$; $2V_a = 62°$. Pléochroïque. C. ch. : $NaFe(SiO_3)_2$; elle est facilement fusible en une perle noire magnétique; faiblement attaquée par les acides. L'A. se trouve dans les Granites et surtout dans les Syénites à Eléolite du sud de la Norvège.

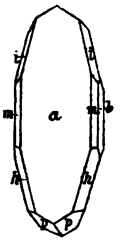


Fig 682.

Jadéïte. — Se présente en masses cristallines finement fibreuses ou granulaires. Elle est clivable suivant un prisme de 87°; tenace; D. = 6 à 7; P.S. = 3,2. Blanchâtre ou vert-pâle. C. ch. : $NaAl(SiO_3)_2$. Fusible en un verre bulleux limpide; difficilement attaquée par les acides. On trouve la J. au Thibet et en Birmanie sous forme de blocs roulés et dans des fissures de la Serpentine. La J. a été employée dans les temps préhistoriques à la fabrication d'armes, d'outils et d'ornements, et en Chine elle est encore très recherchée aujourd'hui pour des usages analogues.

Spodumène. — (Du grec σποδιός = gris de cendre) — Isomorphe avec le Diopside; se présente en cristaux parfois très volumineux mais peu nets et en agrégats bacillaires ou lamellaires. Macles suivant (100). Clivage distinct suivant $\{110\}$, parfait suivant (100). D. = 6 ½ à 7; P.S. = 3,2. Eclat vitreux, nacré sur les faces du clivage suivant (100). Gris-verdâtre ou vert-pomme; rarement vert-émeraude, il prend alors le nom d'*Hiddénite*. Optiquement +; P.A. || (010); B_a fait un angle de 36° avec l'axe vertical. C. ch. : $LiAl(SiO_3)_2$. Au Ch. il se gonfle,

colore la flamme en rouge et fond facilement en un verre limpide. Le S. se trouve dans des Granites et des Schistes cristallins (Gneiss, Micaschistes, etc.) : Lisens et Sterzing en Tyrol, île d'Utö en Suède, Brancheville dans le Connecticut, etc. Il sert à la préparation des sels de lithium.

Aux Pyroxènes monocliniques se rattache la

WOLLASTONITE. — Monoclinique ; $a : b : c = 1,052 : 1 : 0,965$; $\beta = 95°25'$. Les formes les plus fréquentes sont $a = \{100\}$, $c = \{001\}$, $z = \{320\}$, $n = \{120\}$, $v = \{101\}$, $s = \{10\bar{2}\}$. Cristaux allongés suivant l'axe de front et tabulaires suivant a (fig. 683). Macles suivant (100). Angles: $(00\bar{1}) : (10\bar{2}) = 25°30'$; $(100) : (101) = 44°33'$; $(110) : (1\bar{1}0) = 87°20'$. Clivage parfait suivant (100), (001), $(10\bar{1})$ et $(10\bar{2})$. D. = 4 ½ à 5; P. S. = 2,78 à 2,91. Eclat vitreux; blanche, jaunâtre ou rougeâtre. Translucide; optiquement —. P.A. ‖ (010); B_a forme un angle de 32° avec l'axe vertical; $n_\beta = 1,633$; $2E_a = 70°$ environ. C. ch. : $Ca_3(SiO_3)_3$. Difficilement fusible; décomposée par les acides.

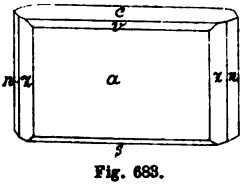


Fig. 683.

On trouve la W. en cristaux et en agrégats à structure bacillaire, fibreuse, lamellaire ou grenue; elle se rencontre dans des Calcaires de contact (Cziclowa dans le Banat, Pargas en Finlande, etc., et dans les blocs rejetés par les volcans (Somma). On l'observe quelquefois en masses blanchâtres fibro-radiées dans des laitiers de hauts fourneaux. La *Pectolite* est une variété sodifère $(Na_2,Ca)_2(SiO_3)_2$, qu'on trouve dans des fissures et des druses de roches éruptives ; Monzoni (Tyrol), Bergen-Hill (New Jersey), etc.

Série triclinique.

Rhodonite. — (Du grec ῥόδον = rose.) — Cristaux prismatiques, raccourcis suivant l'axe vertical; elle se présente ordinairement en masses compactes et en agrégats grenus. Clivage parfait suivant (110) et $(1\bar{1}0)$. L'angle $(110) : (1\bar{1}0) = 87°38'$. D. = 5 à 5 ½; P.S. = 3,5 à 3,6. Rose, rouge, bleuâtre ou brunâtre; éclat vitreux; translucide ou opaque; optiquement —; l'indice moyen = 1,73. C. ch. : $Mn_3(SiO_3)_3$. Fusible au feu de réduction en un verre rouge; inattaquable par les acides. On trouve la R. dans certains gites ferrifères (Langban et Paysberg en Suède) et dans des filons avec Dialogite, Quartz et Piémontite (St Marcel en Piémont). A Iekaterinbourg (Oural) elle remplit une veine de plus de deux mètres d'épaisseur; on l'y exploite comme pierre d'ornement.

La **Fowlérite** de Franklin-Furnace dans le New Jersey $(Mn,Fe,Ca,Zn)_2(SiO_3)_3$ et la **Babingtonite** d'Arendal en Norvège, mélange isomorphe des deux silicates $(Ca,Fe,Mn)_2(SiO_3)_3$ et $Fe_2(SiO_3)_5$, sont des minéraux rares.

AMPHIBOLES.

Les Amphiboles — (Du grec ἀμφίβολος = douteux) — appartiennent comme les Pyroxènes aux trois systèmes rhombique, monoclinique et triclinique; ils se clivent tous avec facilité suivant un prisme vertical, mais les faces de ce prisme forment un angle de 124° environ, au lieu de 87°. Leur composition chimique est parfaitement analogue à celle des Pyroxènes; bref les A. se rapprochent beaucoup des Pyroxènes tant au point de vue cristallographique que sous le rapport des propriétés physiques et chimiques. Cette ressemblance se traduit aussi par le fait que des cristaux des deux catégories de minéraux se montrent souvent accolés avec orientation parallèle, et que l'A. fondue forme du Pyroxène en recristallisant par refroidissement. Nous groupons les A. en trois séries suivant leur système cristallin.

Série Rhombique.

Anthophyllite. — Masses lamello-bacillaires ou fibreuses. Clivage parfait suivant le prisme {110}, dont les faces font un angle de 125° environ; clivage distinct suivant (100). D. = 5 ½; P. S. = 3,2. Eclat nacré ou vitreux; brune, verdâtre ou gris-jaunâtre; ressemblant à la Bronzite. Optiquement + ou, plus rarement —. P.A. ‖ (010); B_a ordinairement ⊥ (001), quelquefois ⊥ (100); $n_\beta = 1,636$ (rayons rouges). $2V_a = 80°$ environ. Faiblement pléochroïque. C. ch. : $(Mg,Fe)_4(SiO_3)_4$; difficilement fusible en un émail noir magnétique; inattaquable par les acides. Elle se trouve dans des Schistes cristallins : Gneiss, Amphibolites, Micaschistes. Kongsberg (Suède), Skutterud près Modum (Norvège), etc. La *Gédrite* de Gèdres (Pyrénées) est une Anthophyllite aluminifère.

Série Monoclinique.

Les Amphiboles monocliniques peuvent être divisées en A. exemptes d'alumine (Trémolite, Actinote), A. aluminifères (Hornblende) et A. alcalinifères (Arfvedsonite, Glaucophane).

TRÉMOLITE. — $a : b : c = 0,541 : 1 : 0,288$; $\beta = 105°11'$; cristaux prismatiques très allongés offrant le prisme {110}, mais le plus souvent à sommets non terminés. La T. se présente généralement en masses bacillaires, fibro-radiées ou fibreuses. Clivage parfait suivant {110}. D. = 6 ½; P. S. — 2,9 à 3,2. Incolore, blanche, grise, verdâtre; éclat vibreux, translucide; optiquement —; P.A. ‖ (010); B_o fait un angle de 15° avec l'axe vertical; $n_\beta = 1,623$; $2V_a = 80$ à 88°. C. ch. : $CaMg_3(SiO_3)_4$, (58 % SiO_2). Fond avec bouillonnement en un verre limpide. Inattaquable par l'acide chlorhydrique. On trouve la T. en cristaux enchâssés dans les Calcaires et les Dolomies de contact (Val Tremola au St Gothard, etc.), dans des Schistes talqueux et dans des Serpentines (Tyrol).

ACTINOTE. — (Du grec ἀκτίς = rayon.) — C'est une Trémolite ferrifère : $Ca(Mg,Fe)_3(SiO_3)_4$. Elle se présente en agrégats à structure rayonnée. P. S. = 2,8 à 3,3. Vert-bouteille ou vert sombre, faiblement pléochroïque. Plus fusible et plus facilement attaquable par l'acide chlorhydrique que la Trémolite. On la trouve surtout dans des Schistes talqueux et chloriteux (Schistes à Actinote) au mont Greiner dans le Zillerthal, dans l'Eulengebirge (Silésie), etc.

La Trémolite et l'Actinote se présentent quelquefois sous forme de fibres très fines enchevêtrées de manière à former une sorte de feutre minéral. Cette variété désignée sous le nom d'*Asbeste amphibolique* se prête à quelques-uns des usages ordinaires de l'Asbeste serpentineuse, mais elle est moins recherchée que cette dernière parceque ses fibres sont cassantes.

Les variétés micro-fibreuses ou compactes portent le nom de *Nephrite* — (Du grec νεφρός = rein) — Leur couleur est le vert-poireau ou le gris-verdâtre; elles sont employées aux mêmes usages que la Jadéïte, mais se distinguent de ce minéral par l'absence d'alumine. On les trouve dans des Serpentines (Jordansmühl en Silésie, Sibérie, Chine, etc.).

HORNBLENDE.—Isomorphe avec la Trémolite, $a:b:c=0,532:1:0,294$; $\beta=104°58'$. Formes ordinaires: $m=\{110\}$, $l=\{011\}$, $c=\{001\}$, $b=\{010\}$, $a=\{100\}$, $p=\{\bar{1}11\}$, $i=\{\bar{1}31\}$; cristaux prismatiques courts (fig. 684, 685, 686 et 687) ou très allongés suivant l'axe vertical, rarement riches en faces.— Angles : $(110):(1\bar{1}0)=55°30'$; $(011):(0\bar{1}1)=31°44'$; $(\bar{1}11):(\bar{1}\bar{1}1)=31°30'$.

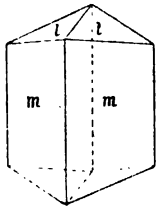


Fig. 684.

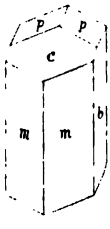


Fig. 685.

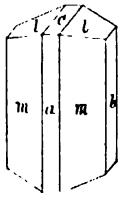


Fig. 686.

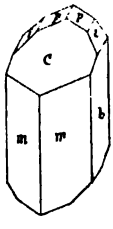


Fig. 687.

Macles fréquentes suivant (100) (fig. 688). On observe aussi des cristaux aciculaires ou capillaires, et des agrégats bacillaires, fibreux ou grenus.

Clivage parfait suivant $m=\{110\}$; ce clivage se manifeste dans les coupes minces par deux systèmes de fissures entrecroisées sous un angle de 124°½ (fig. 689) ou par un seul système de fissures parallèles (fig. 690), suivant que le plan de la coupe est à peu près perpendiculaire à l'axe vertical ou parallèle à cet axe. D. = 5 à 6; P.S. = 3,1 à 3,3. Eclat vitreux. La H. est ordinairement noire, quelquefois vert-poireau; verte ou brune par transparence dans les lames minces; translucide; double réfringence généralement — ;

P.A. ‖ (010); B_o fait avec l'axe vertical un angle de 15 à 22° environ (fig. 691). Les indices de réfraction et l'angle des axes optiques sont variables; $n_\beta = 1,62$ à $1,72$; $2V_a = 55$ à $85°$. Pléochroïsme plus ou moins prononcé.

C. ch. : Mélange isomorphe des deux silicates $Ca(Mg,Fe)_3(SiO_3)_4$ et

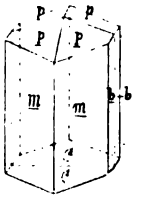


Fig. 688.

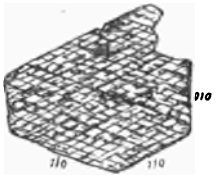


Fig 689.

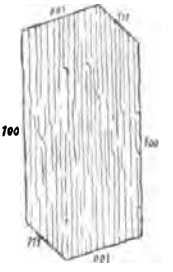


Fig. 690.

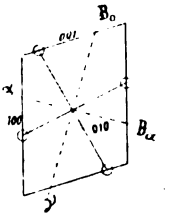


Fig. 691.

$(Mg,Fe)_2(Al,Fe)_4(SiO_6)_2$; (39 à 49 % SiO_2; 8 à 15 % Al_2O_3). Renferme quelquefois une petite quantité de soude, de l'acide titanique (TiO_2) et des traces d'autres substances. Fusible au Ch.; la fusibilité augmente avec la teneur en fer; l'acide chlorhydrique bouillant décompose assez facilement les variétés riches en fer. Dans la nature la H. s'altère très souvent et se transforme en Chlorite, en Biotite, en Epidote ou en Serpentine.

La H. est un élément essentiel ou accessoire d'un grand nombre de roches éruptives : Syénites, Diorites, Andésites, Trachytes, Phonolithes; on la trouve aussi dans des Schistes cristallins (Amphibolites, etc.); en cristaux isolés dans des cendres et des tufs basaltiques, et en cristaux à arêtes arrondies dans des Calcaires de contact.

Variétés. *Pargasite.* — Grains ou cristaux à arêtes arrondies, vert-céladon ou vert sombre. Optiquement +; $n_\beta = 1,62$; $2V_a = 55$ à $60°$. On la trouve dans un calcaire saccharoïde à Pargas en Finlande.

Hornblende commune. — Vert sombre ou noire, verte par transparence dans les coupes minces; optiquement −; $n_\beta = 1,64$; pléochroïque dans les tons jaune et vert; se trouve surtout dans les roches basiques anciennes (Syénites, Diorites) et dans les schistes cristallins.

Hornblende basaltique. — Cristaux ressemblant à des prismes hexagonaux par suite de la prédominance des faces *m* et *b*; noire, noir-brunâtre, brune par transparence, fortement pléochroïque dans les teintes jaune, rouge, brunâtre et brun-noirâtre. Optiquement —; P.A. ‖ (010); B_o fait avec l'axe vertical un angle variable qui peut atteindre 10°; $n_\beta = 1,72$; $2V_a = 80°$. On la trouve surtout dans les Basaltes et les Tufs basaltiques (Wolfsberg en Bohême, etc.). Les blocs rejetés de la Somma en renferment de beaux cristaux brillants.

Remarque. — L'Augite et la Hornblende se présentent très souvent ensemble dans les roches, aussi importe-t-il de savoir les distinguer dans les coupes minces; rappelons à cet effet leurs caractères distinctifs : 1° Dans l'Augite le clivage se fait

suivant un prisme de 87° et dans la Hornblende suivant un prisme de 124° ½; — 2° La Hornblende est nettement pléochroïque, l'Augite ne l'est que très faiblement; 3° Dans les lames qui sont approximativement parallèles à l'axe vertical, l'angle d'extinction mesuré par rapport aux fissures de clivage ne dépasse pas 19 à 22° pour la Hornblende tandis qu'il peut atteindre 40° et même plus pour l'Augite; — 4° L'Augite étant généralement plus réfringente que la Hornblende, ses lames présentent un relief plus fortement marqué que celui des lames de ce dernier minéral. — 5° Les couleurs de polarisation de l'Augite sont plus vives que celles de la Hornblende à cause de l'énergie de sa biréfringence.

Arfvedsonite. — Isomorphe avec la Hornblende. Se présente en cristaux prismatiques allongés et, plus ordinairement, en agrégats lamello-bacillaires. Clivage parfait suivant $m = \{110\}$. D. = 6; P.S. = 3,4 à 3,5. Noire, vert-sombre par transparence en lames minces. P A. || (010); B_o fait un angle de 14° avec l'axe vertical. Pléochroïque dans les teintes vert-olive et vert-bleu. C. ch. complexe, répondant essentiellement à la formule $Na_2Fe_2Si_4O_{12}$, avec des quantités variables de Ca, Mg, Fe'' et Al. Facilement fusible; inattaquable par les acides. On la trouve dans les Syénites à Eléolite (Groenland; Norvège).

Glaucophane. — (Du grec γλαυκός — bleu et φαίνειν = paraître). — Isomorphe avec la Hornblende; se présente quelquefois en cristaux prismatiques, mais ordinairement en agrégats bacillaires, fibreux ou grenus. Clivage parfait suivant $\{110\}$; D. = 6; P.S. = 3. Éclat vitreux. Bleu, gris-bleu, noir-bleuâtre; translucide; optiquement —; P.A. || (010), B_o fait un angle de 4 à 6° avec l'axe vertical; 2E = 85°, $n_\beta = 1,64$. Fortement pléochroïque dans les teintes jaune-verdâtre, violette et bleue. C. ch. : mélange isomorphe des silicates $NaAl(SiO_3)_2$ et $(Ca,Mg,Fe)SiO_3$. Facilement fusible en un verre verdâtre ou grisâtre; inattaquable par les acides. On trouve le G. dans des Schistes cristallins (Gneiss, Micaschistes, Eclogites, etc.). Zermatt (Valais); île de Groix (sur les côtes de Bretagne); île de Syra (Cyclades); etc.

Riebeckite. — Isomorphe avec la Hornblende. Cristaux prismatiques ou agrégats bacillaires et fibreux. Clivage suivant $\{110\}$. P.S. = 3,3. Éclat vitreux. Noire, bleu ou verte par transparence; optiquement —. Pléochroïque. C. ch. : mélange des deux silicates $NaFe(SiO_3)_2$ et $FeSiO_3$. Facilement fusible. Se trouve dans des Granites, des Syénites et des Granulites de l'île de Socotra (Mer Rouge). — La *Crocidolite* n'est qu'une Riebeckite asbestiforme pénétrée par du Quartz. Elle est recherchée comme pierre fine à cause de ses reflets chatoyants. Rivière Orange (Cap); Vosges, etc.

Série Triclinique.

Aenigmatite. — Cristaux peu nets; clivage suivant $\{110\}$. P.S. = 3,8. Noir-brunâtre; éclat vitreux. C. ch. : mélange des silicates $NaAl(SiO_3)_2$ et $(Na_2,Fe,Mg,Ca)_2(SiO_3)_3$ dans lequel la silice peut-être remplacée partiellement par l'acide titanique. Fusible en un verre noir-brunâtre. On la trouve dans des Syénites à Néphéline (Groenland, presqu'île de Kola en Russie) et dans des Liparites (Pantelleria).

On range encore dans le groupe des Métasilicates la Leucite, *le* Béryl *et la* Pollucite.

LEUCITE. — (Du grec λευκός = blanc.) — Les cristaux ont approximativement la forme de l'icositétraèdre {211} (fig. 71), mais des mesures précises et l'examen optique ont démontré qu'ils appartiennent probablement au système quadratique; les incositétraèdres (fig. 692) seraient une combinaison de la protopyramide tétragonale $p = \{111\}$ et de la pyramide ditétragonale $i = \{421\}$; les lamelles maclées qu'on observe dans les cristaux auraient comme plan de macle une face de la deutéropyramide {201} et le rapport des axes du minéral serait $a : c = 1 : 0,5264$. D'après des recherches récentes la L. serait même rhombique. Les sections de ce minéral deviennent rigoureusement isotropes à 500° environ, mais elles reprennent leur biréfringence par refroidissement. La L. est donc cubique à des températures élevées, et la biréfringence des cristaux à la température ordinaire est probablement due à une tension moléculaire produite par le refroidissement.

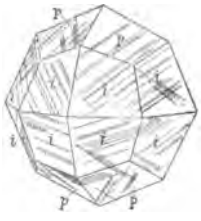


Fig. 692.

Cassure écailleuse; D. = 5 ½; P. S. = 2,45 à 2,50. Blanc grisâtre ou gris-jaunâtre; éclat vitreux, résineux dans la cassure. Optiquement +; biréfringence faible : $n_\omega = 1,508$, $n_\varepsilon = 1,509$.

C. ch. : $KAlSi_2O_6$, (55 % SiO_2). Infusible, décomposée par l'acide chlorhydrique avec dépôt de silice pulvérulente. La L. renferme souvent des inclusions en grand nombre.

Ce minéral se trouve dans les roches éruptives récentes riches en alcalis (Phonolithes, Basaltes, etc.) et dans les cendres et les tufs de ces roches. On rencontre de beaux cristaux de L. dans les blocs rejetés de la Somma, dans les Laves basaltiques du Vésuve, dans le Phonolithe du Kaiserstuhl (Grand Duché de Bade), etc.

BÉRYL. — Hexagonal : $a : c = 1 : 0,4989$. Les formes les plus fréquentes sont : $a = \{10\bar{1}0\}$, $u = \{20\bar{2}1\}$, $t = \{10\bar{1}1\}$, $c = \{0001\}$, $s = \{11\bar{2}1\}$, $x = \{21\bar{3}1\}$. Cristaux prismatiques (fig. 693); les faces a sont souvent cannelées parallèlement à l'axe vertical, ce qui donne aux cristaux un aspect colonnaire.

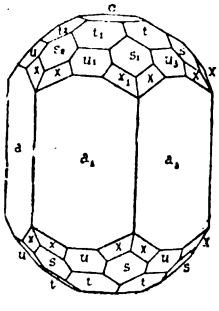


Fig. 693.

Angles : $(0001) : (10\bar{1}1) = 29°56'$; $(0001) : (20\bar{2}1) = 49°2'$; $(0001) : (11\bar{2}1) = 44°56'$; $(10\bar{1}0) : (21\bar{3}1) = 31°46'$. On rencontre aussi des masses compactes et des agrégats bacillaires ou grenus.

Clivage distinct suivant (0001), cassure conchoïdale; D. = 7 à 8; P. S. = 2,6 à 2,8. Eclat vitreux légèrement gras; quelquefois incolore mais ordinairement coloré

de teintes allant du vert-pâle au vert-émeraude ou au vert-bleu; rarement blanc-jaunâtre ou rose-pâle. Optiquement —; $n_\omega = 1,571$ à 1,589; $n_\varepsilon = 1.566$ à 1,582 (rayons jaunes). Pléochroïque dans les teintes vert-bleuâtres.

C. ch. : $Be_3Al_2(SiO_3)_6$ (66,8 °/₀ SiO_2). Fusible sur les bords, inattaquable par les acides. Dans la nature il s'altère et se transforme en Muscovite et en Kaolin.

On trouve le B. en cristaux implantés dans les filons de Pegmatite et dans des Granites (Zwiesel en Bavière, Pisek en Bohême, Ile d'Elbe, Iekaterinbourg dans l'Oural, République Argentine etc.); en cristaux enchâssés dans les Micaschistes (rivière Takowaja dans l'Oural, Habachthal dans le Salzbourg, etc.), et en grains ou en cristaux à arêtes émoussées dans des alluvions (Brésil; rivière Sanarka, Algérie).

Variétés. *Emeraude.* — Cristaux colorés en beau vert par une petite quantité d'oxyde chromique; c'est une pierre fine de grande valeur, dont le prix dépasse quelquefois 500 francs le carat. On la trouve à Muso (Pérou) dans les veines d'un Calcaire bitumineux traversant un Schiste ardoisier, au bord de la rivière Tokowaja, dans le Habachthal, à Kosseïr en Egypte, etc. — *Aigue-Marine.* — Bleu pâle, vert-pâle, jaune, transparente, utilisée parfois pour la bijouterie. — *Béryl commun.* — Cristaux parfois très-volumineux, dont le poids peut atteindre 1500 kilogrammes, verts ou blanc-jaunâtre mais fissurés et troubles. Jekaterinbourg, Monts Adun-Tschilon près de Nertschinsk, Zwiesel, Grafton dans le New Hampshire, etc. Le B. commun sert à la préparation des sels de glucinium.

Pollucite. — Cubique; offre les formes {100} et {211}; elle se présente ordinairement en grains cristallins cariés. Cassure conchoïdale. D. = 5 ½ à 6 ½. P. S. = 2,9 à 3. Eclat vitreux vif. Incolore, transparente, n = 1,517. C. ch. : $H_2Cs_4Al_4(SiO_3)_9$ (30 à 42 °/₀ Cs_2O). La P. est un minéral rare qu'on trouve dans des druses du Granite à l'ile d'Elbe et à Hébron dans l'Etat de Maine (Etats Unis).

Groupe E. — Polysilicates.

A la tête de ce groupe se place une famille très-importante, celle des

FELDSPATHS.

Les Feldspaths peuvent être considérés comme des sels de l'acide trisilicique ($H_4Si_3O_8$). Ils appartiennent aux systèmes monoclinique et triclinique, mais leurs formes cristallines sont très analogues; ils offrent également beaucoup de ressemblance au point de vue du clivage, qui est pour tous les Feldspaths : très parfait suivant (001), moins parfait suivant (010), imparfait suivant (110) et (110). Nous groupons ces minéraux en une série monoclinique (Orthose) et en une série triclinique (Microcline, Plagioclases).

Série Monoclinique.

X **ORTHOSE.**— (Du grec ὀρθός = droit.) — $a : b : c = 0,6585 : 1 : 0,5554$; $\beta = 116°3'$. Formes communes : M = {010}, P. = {001}, T = {110}; x = {10$\bar{1}$}, y = {20$\bar{1}$}; on observe aussi très souvent n = {021}, o = {11$\bar{1}$} et z = {130}. Cristaux ordinairement prismatiques suivant l'axe vertical

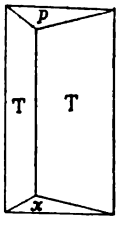


Fig. 694.

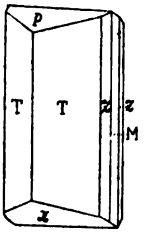


Fig. 695.

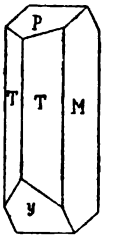


Fig. 696.

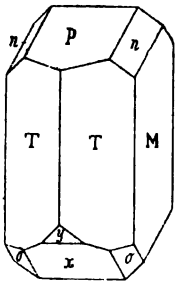


Fig. 697.

(fig. 694, 695, 696 et 697) ou suivant l'axe de profil (fig. 698), quelquefois aplatis suivant {010} ou {001}. Angles : (110) : (1$\bar{1}$0) = 61°13'; (001) : (110) = 67°47'; (001) : (100) = 63°57'; (10$\bar{1}$) : (100) = 65°47; (021) : (0$\bar{2}$1) = 89°53'. Les macles les plus fréquentes appartiennent à trois espèces : 1° *Macle de Carlsbad* : le plan de macle est la face (100) et le plan

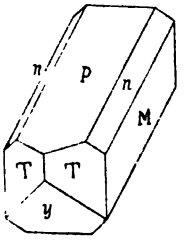


Fig. 698.

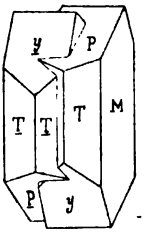


Fig. 699.

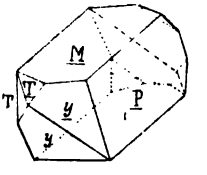


Fig. 700.

d'assemblage la face (010), (fig. 699); cette macle s'observe communément dans les cristaux enchâssés. 2° *Macle de Baveno* : le plan de macle est l'une des faces n = {021} (fig. 700); cette macle se trouve ordinairement réalisée dans les cristaux implantés, et dans ceux des cristaux enchâssés qui sont prismatiques suivant l'axe de profil (fig. 698); on observe souvent des macles en cycle de quatre individus assemblés suivant les faces n; comme l'angle entre les faces n est presque égal à 90°, le cycle se ferme complètement. 3° *Macle de Manebach* : le plan de macle est la face (001) (fig. 701); cette macle est fréquente dans les cristaux aplatis suivant (001) et prismatiques

suivant l'axe de profil. L'O. se présente aussi en masses cristallines et en agrégats grenus.

Clivage très parfait suivant P, moins parfait suivant M; ces deux clivages forment un angle droit, de là le nom du minéral. Clivage très imparfait suivant T = {110}. Cassure conchoïdale ou écailleuse. D. = 6; P. S. = 2,5 à 2,6. Eclat vitreux, nacré sur les faces P. Incolore, quelquefois limpide, mais le plus souvent coloré en blanc, rouge-chair ou rouge-brique; rarement jaunâtre, verdâtre ou vert-émeraude. Translucide ou transparent. Optiquement —; P. A. quelquefois ∥ (010) mais le plus souvent ⊥ (010); cependant la bissectrice aiguë α, située dans la face (010) et formant un angle de 3 à 7° avec la trace de (001) (voir fig. 702), reste fixe tandis que les deux autres axes d'élasticité changent de rôle. Sous l'influence d'une forte pression ou d'une élévation de température, le P.A. primitivement ⊥ (010)

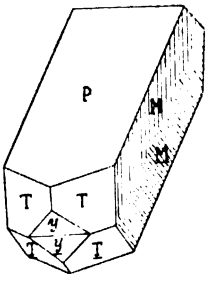


Fig. 701.

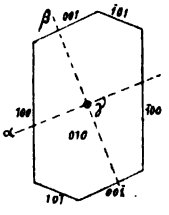


Fig. 702.

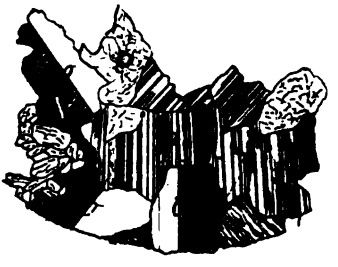


Fig. 703.

devient ∥ (010); cette dernière disposition du P. A. devient permanente quand l'échauffement du cristal a dépassé une certaine température, variant de 600 à 1000°. $n_\beta = 1,523$; $2V_a = 13$ à 84°. Biréfringence très faible; ordinairement les couleurs de polarisation ne dépassent pas le gris d'acier dans les préparations microscopiques. Les cristaux maclés se présentent dans les coupes minces entre Nicols croisés, sous forme de deux bandes juxtaposées et différemment éclairées (O, fig. 703); ces bandes ne renferment pas de lamelles maclées.

C. ch. : $K_2Al_2Si_6O_{16}$ (64,7 °/₀ SiO_2; 18,4 °/₀ Al_2O_3; 16,9 °/₀ K_2O); contient souvent un peu de soude (1 à 6 °/₀), et quelquefois des traces de calcium, de magnésium, de baryum ou de fer. Fond difficilement en un verre bulleux; inattaquable par les acides. Dans la nature l'O s'altère facilement et se transforme en Muscovite et en Kaolin.

On trouve l'O. en cristaux implantés dans les fissures des Schistes cristallins, dans les druses et les filons des Granites, rarement dans des filons métallifères. Sous forme de cristaux enchâssés il constitue un élément essentiel des Gneiss et d'un grand nombre de roches éruptives (Granites,

Porphyres quartzifères, Syénites, Trachytes, Phonolithes, etc.); il se rencontre aussi dans les blocs rejetés par les volcans et en fragments ou en grains roulés dans des Sables d'alluvion, des Grès, des Argiles, etc.

On distingue les variétés suivantes d'O. :

Adulaire — (De *Adula*, montagne du massif du St. Gothard)—Cristaux implantés, incolores, transparents; quelquefois colorés en vert à la surface par un revêtement de fines lamelles de Chlorite. P. A. ⊥ (010); $n_\alpha = 1,519$; $n_\beta = 1,523$; $n_\gamma = 1,525$; $2V_a = 66$ à 71°. Se rencontre surtout dans les fissures des Schistes cristallins et dans les druses des Granites (St-Gothard, Zillerthal, Pfitschthal, Oisans, Dauphiné, Arendal, etc.). La *Pierre de lune* de Ceylan est une A. douée d'un reflet bleuâtre opalescent sur M = {010}; elle est employée en bijouterie.

Sanidine — (Du grec σανίς = table) — Cristaux ordinairement tabulaires suivant M = {010}, à éclat vitreux et finement fendillés. Incolore ou grisâtre, translucide ou transparente. P. A. ‖ (010); $2V_a = 13$ à 30°; souvent relativement riche en soude. Fond plus facilement que l'O. ordinaire. On la trouve en cristaux implantés limpides dans les blocs rejetés par les volcans (Somma, lac de Laach, etc.) et en cristaux implantés troubles dans les roches éruptives récentes telles que les Trachytes, les Phonolithes et les Liparites (Drachenfels, etc.).

Pegmatolite ou *O. commun*. Cristaux quelquefois énormes, laiteux, blanc-jaunâtre ou rose-chair, translucides ou opaques, à éclat vitreux faible. On la trouve en cristaux implantés dans les filons de Pegmatite (de là le nom de la variété) et en cristaux empâtés dans des roches éruptives anciennes (Granites, Syénites, Porphyres quartzifères) et des Gneiss. Ile d'Elbe, Baveno, Riesengebirge, Fichtelgebirge, Auvergne, Mourne-mountains (Irlande), Oural, etc. Cette variété offre quelquefois des interpositions régulières de cristaux bacillaires de Quartz, qui apparaissent sur les surfaces polies sous forme de sections allongées et courbées ressemblant aux caractères de l'écriture hébraïque. (Granite graphique). D'autres fois on observe une intercristallisation régulière de P. et d'Albite (Perthite de Perth au Canada, etc.). La P. est quelquefois exploitée pour servir à la fabrication de la porcelaine (Scandinavie, Canada).

Hyalophane. — (Du grec ὑαλέος = vitreux, et φαίνω = paraître). — Isomorphe avec l'Orthose, $\beta = 115°35'$, cristaux prismatiques (fig. 693); éclat vitreux; incolore, blanche ou rougeâtre. Optiquement —; P.A. ⊥ (010). B_a fait dans (010) un angle de 5 à 6° avec la trace de (001). $n_\beta = 1,539$. $2V_a = 79°$. C. ch. : $(K_2,Ba)Al_2Si_6O_{16}$ (46 à 62 °/₀ SiO_2; 9 à 20 °/₀ BaO). On la trouve en cristaux dans les fissures de la Dolomie du Binnenthal (Valais), et dans les mines de manganèse de Jakobsberg (Wermland).

Série Triclinique.

MICROCLINE. — (Du grec μικρός = petit, et κλίνω = incliner.) — Les formes cristallines du M. sont très voisines de celles de l'Orthose, mais l'angle (001) : (010) s'écarte légèrement de 90° (d'où le nom de l'espèce); il est en moyenne de 89°45'. Les macles suivent, comme pour l'Orthose, les lois de Carlsbad, de Baveno et de Manebach; on observe aussi des macles polysynthétiques obéissant aux deux lois suivantes : 1° Plan de macle et plan d'acco-

lement la face (010). — 2° Plan de macle perpendiculaire à l'axe de front, plan d'accolement une face de prisme de front voisine de ($\bar{4}01$). Ces lamelles souvent extrêmement fines s'entrecroisent dans les cristaux, et dans les lames minces à peu près parallèles à (001) elles apparaissent, entre les Nicols croisés, sous forme d'un quadrillé caractéristique (fig. 704); dans les sections dont la direction se rapproche de celle de (010) ou de ($\bar{4}01$) l'un des systèmes de lamelles hémitropes devient indistinct ou disparaît complètement. Le M. se présente aussi en masses lamellaires, lamello-granulaires ou compactes.

Fig. 704.

Clivages parfaits suivant (001) et (010), moins parfait suivant ($1\bar{1}0$), imparfait suivant (110). L'inégalité des clivages suivant ($1\bar{1}0$) et (110) décèle le système triclinique. D. = 6; P.S. = 2,54 à 2,58. Jaune-crême, rougeâtre, verdâtre ou vert franc; éclat vitreux, nacré sur P = {001}; translucide ou opaque. Optiquement —. P. A. presque ⊥ (001). B_a voisine de l'arête (001) : (010). Sur les faces P = (001) et M = (010), les angles d'extinction sont respectivement de + 15 à 16°, et de + 5°, dans le sens positif indiqué par la figure 715; $n_\alpha = 1,523$; $n_\beta = 1,526$; $n_\gamma = 1,529$; $2V_a = 84°$ (rayons jaunes).

C. ch. : $K_2Al_2Si_6O_{16}$, donc identique à celle de l'Orthose; contient ordinairement un peu de soude. Mêmes reactions que l'Orthose.

On trouve le M. en cristaux implantés dans les filons de Pegmatite et les géodes des Granites (Striegau en Silésie, Arendal en Norvège, Oural, Pensylvanie, Magnet-Cove dans l'Arkansas, etc.) et en cristaux empâtés dans les Gneiss et les roches éruptives anciennes : Granites, Syénites. Les variétés colorées en vert-émeraude (*Pierre des Amazones*) se rencontrent en beaux cristaux à Miask (Monts Ilmen) et au Pike's Peak (Colorado).

Anorthose. — Isomorphe avec le Microcline; les cristaux ressemblent parfaitement à ceux de ce minéral; ils sont ordinairement prismatiques suivant l'axe vertical, et les faces M sont peu développées. Présente les mêmes macles que le Microcline mais les lamelles polysynthétiques sont généralement très fines et peu distinctes. P.S. = 2,6. Les angles d'extinction sur les faces P = (001) et M = (010) sont respectivement de + 1 à 6°, et de + 6 à 10°. Optiquement —; B_a presque ⊥ ($20\bar{1}$); $n_\beta = 1,50$ à 1,58; $2V_a = 45°$ environ. C. ch. : $(Na,K)_2Al_2Si_6O_{16}$; la teneur en soude est plus forte que la teneur en potasse. Contient parfois une petite quantité de calcium.

L'A. est très répandu dans les filons de Pegmatite qui traversent les Syénites à Néphéline du sud de la Norvège, et dans la masse même de ces roches; on le trouve aussi dans les Laves de l'île de Pantelleria, etc.

PLAGIOCLASES. — (Du grec πλάγιος = oblique, et κλάω = cliver.) — Les cristaux ressemblent par leur aspect et leur forme à ceux de l'Orthose; les formes les plus communes sont : M = {010}, P = {001}, l = {110}, T = {1$\bar{1}$0}, x = {10$\bar{1}$}, y = {20$\bar{1}$}, o = {11$\bar{1}$}. v = {1$\bar{1}\bar{1}$}, e = {021}, n = {0$\bar{2}$1}, f = {130}, z = {1$\bar{3}$0}. Suivant la prédominance d'une ou plu-

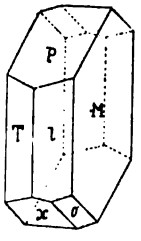


Fig. 705.

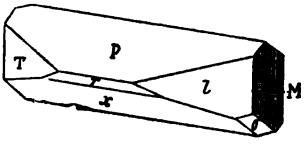


Fig. 706.

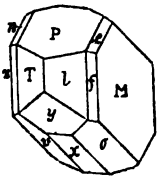


Fig. 707.

sieurs de ces formes on peut distinguer différents types de cristaux : ils sont tabulaires suivant M (fig. 705), prismatiques suivant l'axe de front fig. 706), ou prismatiques suivant l'axe de profil; on observe aussi des cristaux trapus, prismatiques suivant l'axe vertical ou suivant l'arête o : M (fig. 707). Angles principaux : (001) : (010) = 86°24′ à 85°50′; (001) : (100) = 63°35′ à 63°57′; (010) : (100) = 60°26′ à 58°4′; (001) : (110) = 65°17′ à 65°53′; (001) : (1$\bar{1}$0) = 69°10′ à 69°20′; (010) : (110) = 60°26′ à 58°4′; (0$\bar{1}$0) : (1$\bar{1}$0) = 60°20′ à 62°26′. Macles extrêmement fréquentes d'après les deux lois sui-

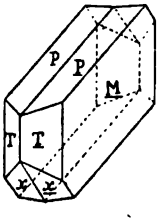


Fig. 708.

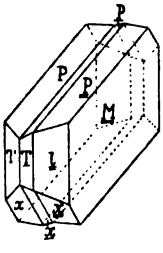


Fig. 709.

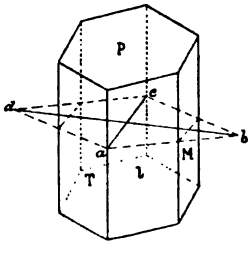


Fig. 710.

vantes : 1° *Macle de l'Albite* : plan de macle et plan d'assemblage la face M = (010); on observe surtout cette macle pour les cristaux tabulaires suivant M et dans ceux qui sont allongés suivant l'axe de profil (fig. 708); les faces P des deux individus forment entre elles un angle de 172°48′ à 171°40′. On observe très souvent des lamelles maclées suivant la même loi (fig. 709); ces lamelles qui sont parfois très minces, produisent une série de stries sur les faces P, x, y, etc.; dans les sections minces, entre les Nicols croisés, elles se présentent généralement sous forme de deux systèmes de

bandes alongées et parallèles, dont l'un est éclairé pendant que l'autre est obscur (voir les plages striées, fig. 703). — 2° *Macle de la Péricline*: le plan de macle est perpendiculaire à l'axe de front; le plan d'assemblage est parallèle à l'axe de front et coupe la face M = (010) suivant une droite *s* perpendiculaire

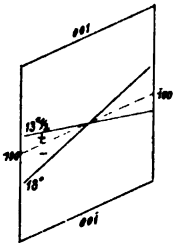


Fig. 711.

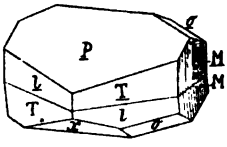


Fig. 712.

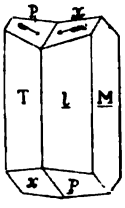


Fig. 713.

à cet axe; l'intersection du plan d'assemblage avec les faces T et *l* présente la forme d'un losange (fig. 710); cette intersection (*Section rhombique*) est symétrique par rapport à l'axe de front *bd* (fig. 709) et à la droite *ac* qui est parallèle à la droite *s*. L'angle σ que la droite *s* forme avec l'arête (001) : (010) dans le plan M = (010) peut varier de + 22° à — 18° (fig. 711). Cette macle est

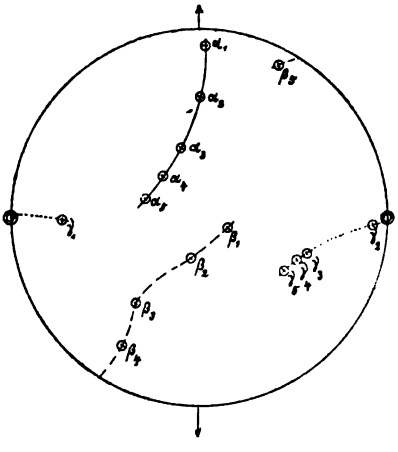


Fig. 714.

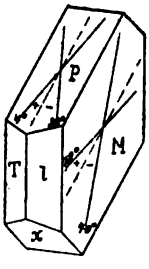


Fig. 715.

très souvent réalisée dans les cristaux allongés suivant l'axe de front (fig. 712); elle se présente aussi sous forme de lamelles polysynthétiques et produit alors une série de stries sur les faces M. Outre ces deux macles, on en observe encore d'autres qui sont analogues à celles de l'Orthose; la plus fréquente est la macle de Carlsbad (fig. 713).

On rencontre souvent des cristaux à structure zonaire, dont le noyan

ordinairement assez pauvre en silice est entouré par des zones successives de plus en plus riches en silice.

Les P. se présentent aussi en masses cristallines et en agrégats rayonnés, grenus ou laminaires.

Clivages parfaits suivant P. et M, très imparfaits suivant T et *l*; l'angle des deux clivages parfaits n'est pas de 90° ce qui explique le nom de l'espèce. Cassure conchoïdale, inégale ou écailleuse. D. = 6 à 7; P.S. = 2,60 à 2,76. Eclat vitreux, nacré sur P. Incolore, blanc, rarement jaune, rougeâtre ou verdâtre. Translucide, quelquefois trouble.

Le signe optique et la direction du plan des axes optiques sont variables. Supposons que les points auxquels les trois axes d'élasticité optique α, β, γ percent la surface d'une sphère concentrique avec le cristal soient projetés stéréographiquement sur un plan perpendiculaire à l'axe vertical : nous obtenons la figure 714 dans laquelle les courbes parcourues par α, β, γ sont indiquées respectivement par un trait plein, une ligne de traits, et une ligne pointillée; la trace du plan M est marquée par une flèche. Les plans des axes optiques des 5 types représentés passent par les points α et γ qui ont le même indice. De plus, quand on détermine, par rapport à l'arête P:M, les angles d'extinction (μ et ν) sur les faces P et M, on constate que ces angles μ(sur P) et ν(sur M) peuvent varier respectivement de $+4°\,1/2$ à $-38°$ et de $+18°$ à $-40°$ (fig. 715). — $n_\alpha = 1,532$ à $1,574$; $n_\beta = 1,534$ à $1,579$; $n_\gamma = 1,540$ à $1,586$. $2V_a = 77$ à $88°$. Les couleurs de polarisation des sections minces ne dépassent généralement pas le gris d'acier.

C. ch. : Mélanges isomorphes des deux silicates $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ = Ab et $CaAl_2Si_2O_8$ = An. La formule générale est donc Ab_nAn_m (Théorie de Tschermak), *n* et *m* ayant des valeurs variables. La teneur en silice varie de 43 à 68,6 °/₀. Fond difficilement (à 1200° environ); généralement inattaquable par les acides, mais les espèces très riches en chaux sont décomposées avec dépôt de silice gélatineuse. S'altère facilement dans la nature et se transforme en Muscovite, Kaolin, Epidote, Scapolites, Zéolithes, etc.; ce sont surtout les P. calciques qui sont sujets à cette altération.

Les P. sont extrêmement répandus; ils se trouvent en cristaux implantés dans les géodes des roches éruptives, dans les fissures des Schistes cristallins et dans des blocs rejetés par les volcans. En cristaux empâtés ils constituent un élément essentiel d'un grand nombre de roches éruptives (roches à Plagioclase).

On peut distinguer d'après la composition chimique cinq types principaux de P. dont les propriétés les plus importantes sont consignées dans le tableau suivant.

N°	C. ch.	% de An	Composition centésimale SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	P. S.	(001):(010)	σ	μ	ν	n_β	Sig. opt.	$2V_a$
I	Ab	0,00	68,7	19,5	0,0	11,8	2,62	86°24′	+22°	+ 4° ½	+19°	1,534	+	77°
II	Ab_3An	25,0	62,0	24,0	5,3	8,7	2,66	86°32′	+ 5°	+ 1°	+ 4° ½	1,543	—	86°
III	Ab_1An_1	50,0	55,6	28,3	10,4	5,7	2,69	86°14′	0	— 5°	—16°	1,553	+	77°
IV	Ab_1An_5	75,0	49,3	32,6	15,3	2,8	2,78	86°12′	— 8°	—17° ½	—29° ½	1,563	+	77°
V	An	100,0	43,2	36,7	20,1	0,0	2,76	85°50′	—18°	—37°	—38°	1,579	—	77°

Ce tableau montre qu'en général les propriétés géométriques et physiques des P. sont en quelque sorte des fonctions des deux valeurs n et m dans la formule Ab_nAn_m. A la vérité ces cinq types ne sont réalisés dans la nature qu'exceptionnellement; mais les sous-espèces dont nous allons donner une description sommaire s'en rapprochent beaucoup.

Albite. — (Du latin *albus* = blanc.) — Les cristaux, dont la C. ch. répond exactement à la formule $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ = Ab, ont pour rapport des axes $a : b : c$ = 0,6385 : 1 : 0,5577; α = 94°3′; β = 116°29′; γ = 88°9′. Cristaux aplatis suivant M (type Albite, fig. 705) ou allongés suivant l'axe de profil (type Péricline, fig 706); les premiers sont généralement maclés suivant la loi de l'Albite, et les seconds suivant celle de la Péricline; σ = + 22° à + 13°; D. = 6 à 7 : P. S. = 2,62 à 2,65. Incolore, blanche, rarement rougeâtre ou verdâtre; éclat vitreux, parfois nacré sur P et M. μ = + 4° ½ à + 3°; ν = + 19° à + 12°; $2V_a$ = 77 à 79°; la disposition des axes d'élasticité optique est indiquée par α_1, β_1, γ_1 dans la figure 714. C. ch. varie de Ab_1An_0 à Ab_3An_1 (68,7 à 65 % SiO_2). Fond difficilement sur les bords, inattaquable par les acides.

On trouve l'A. en cristaux implantés dans les fissures des Schistes cristallins et des roches éruptives; les plus beaux cristaux viennent des Alpes (Rauris dans le Salzbourg, Zillerthal, Pfitschthal, etc.); elle se rencontre aussi parfois en cristaux enchâssés dans certains Calcaires et Dolomies, et en cristaux implantés réunis en druses dans les fissures et les géodes de ces roches. (Schmirn en Tyrol, Mont Blanc et Roc Tourné en Savoie, Pyrénées, etc.); mais il est très rare qu'elle joue le rôle d'élément constitutif des roches.

Oligoclase. — (Du grec ὀλίγοσ = peu.) — Les cristaux nettement terminés sont très rares; ils sont ordinairement prismatiques suivant l'axe vertical (fig. 260) ou aplatis suivant M. Macles très fréquentes. σ = + 10° à + 5°; D. = 6 à 6 ½; P. S. = 2,65 à 2,67. Eclat vitreux passant à l'éclat gras. Incolore, blanc, verdâtre; quelques échantillons renferment de fines lamelles d'Oligiste, ce qui produit des reflets avanturinés (*Pierre de Soleil*); μ = + 3° à + 1°; ν = + 12° à + 4° ½. La disposition des axes α, β, γ se rapproche de celle qui est indiquée par α_2, β_2, γ_2 dans la figure 714. $2V_a$ = 83 à 89°. Les sections présentent des lamelles maclées très fines et très serrées. C. ch. : varie de Ab_3An_1 à Ab_2An_1 (65 à 62 % SiO_2). Fond en un verre limpide et bulleux; presque inattaquable par les acides. L'O. se trouve en cristaux enchâssés dans les Gneiss et dans certaines roches éruptives (Granite, Porphyre quartzifère, Syénite, Diorite, etc.); on le rencontre en cristaux nette-

ment terminés dans les gîtes métallifères d'Arendal (Norvège) et dans les blocs rejetés de la Somma. Il se présente très souvent en masses grenues.

Andésine. — (Du nom des *Andes.*) — Cristaux rares, généralement tabulaires suivant M ou P, quelquefois prismatiques suivant l'axe vertical; macles fréquentes; $\sigma = +5°$ à $-2°$; D. = 5 à 6; P. S. = 2,68; éclat vitreux, nacré sur P et M. Incolore, blanche, verdâtre, rouge-chair; faiblement transparente; $\mu = +1°$ à $-5°$; $\nu = +4° \frac{1}{2}$ à $-16°$. Les axes α, β, γ se rapprochent de $\alpha_5, \beta_5, \gamma_5$ (fig. 714). $2V_a = 77$ à $89°$. C. ch. : varie de Ab_3An_1 à Ab_1An_1, (62 à 55,6 % SiO_2). Fond plus facilement que l'Albite; incomplètement décomposée par les acides. L'A. se trouve en cristaux empâtés dans les mêmes roches que l'Oligoclase; elle se présente en cristaux assez beaux dans les gîtes de Pyrrhotine à Bodenmais (Bavière), dans un tuf ponceux au mont Arcuento (Sardaigne), dans un Porphyre bleu de l'Esterel (Département du Var), etc.

Labrador. — (Du nom du *Labrador* où on l'a découvert.) — Se présente rarement en cristaux qui sont le plus souvent tabulaires suivant M. Macles très communes d'après la loi de l'Albite, plus rares suivant celle de la Péricline; $\sigma = -2°$ à $-8°$; D. = 5 à 6; P.S. = 2,70 à 2,74. Eclat vitreux passant à l'état résineux. Gris, jaunâtre, verdâtre, rougeâtre ou rouge-chair; translucide. $\mu = -5°$ à $-18°$, $\nu = 16°$ à $-29° \frac{1}{2}$. Les axes α, β, γ se groupent des deux côtés des points $\alpha_4, \beta_4, \gamma_4$ (fig. 714). $2V_a = 77$ à $79°$. Les lamelles maclées sont assez larges.

C. ch. : varie de Ab_1An_1 à Ab_1An_5 (55,6 à 49,3 % SiO_2). Fusible en un verre incolore ou blanc. Difficilement décomposé par l'acide chlorhydrique.

Le L. se trouve dans les Schistes cristallins et dans des roches éruptives basiques (Gabbros, Norites, Andésites, etc.). Dans les Pegmatites, les Gabbros et les Norites il forme souvent des masses spathiques qui présentent parfois de beaux reflets chatoyants de différentes nuances (Côte du Labrador, Finlande). On trouve des cristaux nets dans un tuf trachytique à Visegrad (Hongrie), dans un sable avec Augite à l'Etna. — Au L. se rattache la *Bytownite* qui comprend les Plagioclases dont la C. ch. répond à la formule $Ab_1An_5 - Ab_1An_6$ (49,3 à 46,6 % SiO_2).

Anorthite. — (Du grec ἀνορθός = oblique.) — Les cristaux, dont la C. ch. répond presque exactement à la formule $CaAl_2Si_2O_8$ = An, ont comme rapport des axes $a : b : c = 0,6347 : 1 : 0,5500$; $\alpha = 93° 13'$; $\beta = 115° 55'$; $\gamma = 91° 12'$; ils sont généralement prismatiques, raccourcis suivant l'axe vertical, plus rarement tabulaires suivant P = {001}; quelquefois très riches en facettes (fig. 716). Macles fréquentes suivant les différentes lois. $\sigma = -15°$ à $-18°$. D. = 6 à 6 $\frac{1}{2}$; P.S. = 2,74 à 2,76. Eclat vitreux, nacré sur P. Incolore, blanche, ou rougeâtre. Translucide ou transparente. $\mu = -27° \frac{1}{2}$ à $-37°$; $\nu = -33° \frac{1}{2}$ à $-36°$. Les axes α, β, γ ont la disposition indiquée par $\alpha_5, \beta_5, \gamma_5$ dans la figure 714. $2V_a = 77°$.

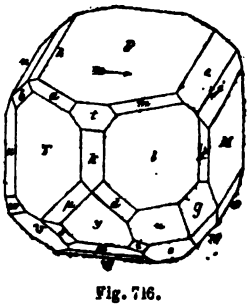


Fig. 716.

C. ch. varie de Ab_1An_6 à An (46,6 à 43,2 % SiO_2). Fusible en un verre limpide; décomposée par l'acide chlorhydrique avec dépôt de silice pulvérulente. L'A. se trouve en beaux cristaux implantés dans les druses des blocs rejetés par les volcans (Somma); on la rencontre aussi dans des roches de contact (Monzoni) et dans des roches éruptives basiques (Gabbros,

Andésites, etc.). Elle se présente parfois en masses grenues ou lamellaires (Drummond-Island au Canada).

A la suite des Feldspaths se placent la Scapolite *et la* Titanite.

SCAPOLITE. — (Du grec σκᾶπος = branche et λίθος = pierre.) — Appartient à l'hémiédrie pyramidale du système tétragonal; $a : c = 1 : 1,44$. Formes ordinaires : $a = \pi\{100\}$, $m = \pi\{110\}$, $p = \pi\{111\}$, plus rarement $z = \pi\{311\}$. Cristaux généralement prismatiques (fig. 717). On observe aussi des agrégats à structure rayonnée, grenue ou compacte.

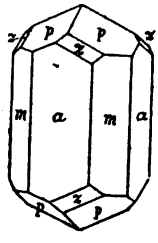


Fig. 717.

Clivage parfait suivant $\pi\{100\}$, moins parfait suivant $\pi\{110\}$. Cassure conchoïdale. D. = 5 à 6. P. S. = 2,57 à 2,74. Eclat vitreux passant à l'éclat nacré. Incolore, blanche, grise, bleuâtre ou rougeâtre. Translucide ou transparente. Optiquement —; $n_\omega = 1,594$ à $1,562$, $n_\varepsilon = 1,558$ à $1,546$. Les variétés colorées en bleu sont faiblement pléochroïques.

C. ch. Mélanges isomorphes des deux silicates $Na_4Al_3Si_9O_{24}Cl$ = Ma et $Ca_4Al_6Si_6O_{25}$ = Me; leur formule générale est donc Ma_mMe_n, où m et n ont des valeurs variables. Au Ch. se gonfle et fond en un verre blanc. Les S. résistent d'autant mieux à l'action des acides que leur teneur en Ma est plus élevée; les variétés qui ne contiennent qu'une faible proportion de Ma sont décomposées par les acides. Dans la nature les S. s'altèrent souvent et se transforment en Albite, Epidote, Mica, Kaolin, etc.

La S. se trouve en cristaux enchâssés dans les Calcaires de contact, dans certains Schistes cristallins (Gneiss, Amphibolites) et dans des Calcaires saccharoïdes qui font partie des Schistes cristallins; on l'observe en cristaux implantés dans les blocs rejetés par les volcans (Somma).

On peut distinguer, d'après la C. ch., trois sous-espèces :

Marialite. — Ma à Ma_3Me_1 (61 à 56 % SiO_2). Inattaquable par les acides; se rencontre en petites aiguilles limpides dans les druses d'une lave trachytique (*Piperno*) à Pianura près de Naples; et en prismes allongés blanc-rougeâtre (*Dipyre* dans les Schistes et les Calcaires de contact (Pyrénées). La *Couseranite* de Couserans (Ariège) est une Dipyre décomposée.

Mizzonite. — Ma_2Me_1 à Ma_1Me_2 (56 à 48 % SiO_2). Incomplètement décomposée par l'acide chlorhydrique. Se trouve en cristaux limpides dans les blocs rejetés par les volcans (Somma, Lac de Laach dans l'Eifel); en cristaux troubles empâtés dans des Calcaires (Arendal en Norvège, Malsjö en Suède, Pargas en Finlande, Gouverneur dans l'Etat de New York, etc.). La *Passauïte* de Passau (Bavière) n'est qu'une Mizzonite altérée.

Meionite. — Ma_1Me_2 à Me (48 à 40 % SiO_2). Décomposée par l'acide chlor-

hydrique. Prismes limpides implantés dans les blocs rejetés par les volcans (Somma, Lac de Laach); elle se présente quelquefois en cristaux enchâssés, troubles, à arêtes arrondies (*Wernérite*) dans des Calcaires saccharoïdes (Pargas en Finlande, Bolton dans le Massachusetts).

A la Scapolite se rattache la **Sarcolite**; cristaux prismatiques appartenant à l'hémiédrie pyramidale du système tétragonal. C. ch.: $Na_2Ca_8Al_6Si_9O_{36}$(41 °/₀ SiO_2). D. = 5 à 6; P.S. = 2,5. Rouge-chair; transparente. On la trouve dans les blocs de la Somma.

TITANITE.—Monoclinique; $a:b:c = 0,427:1:0,657$; $\beta = 94°38'$. Formes ordinaires : $m = \{110\}$, $x = \{\bar{1}02\}$, $c = \{001\}$, $y = \{\bar{1}01\}$, $n = \{12\bar{3}\}$, $r = \{011\}$. Les cristaux implantés sont tabulaires suivant x (fig. 718), parfois aussi suivant y, ou prismatiques suivant m; les cristaux enchâssés, au con-

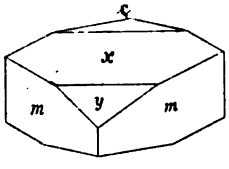


Fig. 718

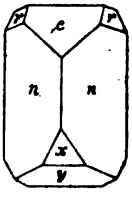


Fig. 719.

traire, sont allongés suivant l'arête de la pyramide n (fig. 719). Angles : $(110):(1\bar{1}0) = 46°8'$; $(\bar{1}23):(\bar{1}\bar{2}3) = 43°48'$. Macles par pénétration (fig. 720) ou par accolement (fig. 721) avec la face (001) comme plan de macle. La T. se présente aussi en agrégats à structure lamellaire.

Clivages très imparfaits suivant m ou r. D. = 5 à 5 ½; P.S. = 3,4 à 3,6.

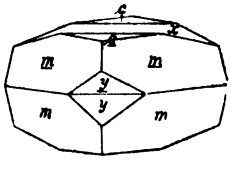


Fig. 720.

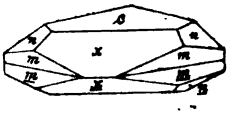


Fig. 721.

Eclat vitreux passant à l'éclat gras ou adamantin. Les cristaux implantés (*Sphène*) sont jaunes ou vert-clair; les cristaux enchâssés (*Grothite*) sont bruns, rarement rouges. La T. est translucide ou transparente. Optiquement +. P.A. ∥ (010); B_a presque ⊥ à x. Fortement biréfringente; $n_\beta = 1,894$ à $1,92$; $2E_a = 45$ à $71°$. Les variétés de couleur foncée sont pléochroïques.

C. ch. : $CaTiSiO_5$ (30,6 °/₀ SiO_2; 40,8 °/₀ TiO_2). Au Ch. fond sur les bords

en un verre de couleur sombre. Complètement décomposée par l'acide sulfurique. Dans la nature elle s'altère et se transforme en Rutile, en Brookite, en Anatase, en Perowskite, etc.

La T. se trouve en cristaux implantés dans les fissures du Granite et des Schistes cristallins (Gneiss, Micaschistes, Schistes chloriteux). Alpes (St. Gothard, Pfitschthal, Zillerthal, Pfunders en Tyrol, Sulzbachthal en Salzbourg, Tavetsch en Suisse); Oural (Slatoust) et en d'autres régions. On la rencontre en cristaux enchâssés dans des Calcaires grenus (Grenville et Renfrew C^r au Canada; Monroe dans l'Etat de New York) et surtout dans certaines roches éruptives (Syénites, Phonolithes) comme à Plauen près de Dresde et au Kaiserstuhl (Grand-Duché de Bade).

L'**Yttrotitanite** d'Arendal (Norvège) est une Titanite contenant une certaine quantité de fer, d'aluminium et d'yttrium (9 °/₀ Y_2O_3).

A la fin du groupe des Polysilicates se placent quelques minéraux qui s'observent généralement dans les Pegmatites : **Epididymite**, rhombique; **Eudidymite**, monoclinique; ces deux minéraux ont la même composition: $HNaBeSi_3O_8$. — **Pétalite**, monoclinique, $LiAlSi_4O_{10}$; **Neptunite**, monoclinique, $(Na,K)_2(Fe,Mn)(Si,Ti)_5O_{12}$; **Milarite**, pseudohexagonale, $HKCa_2Al_2(Si_2O_5)_6$.

Groupe F. — Silicates hydratés.

Presque tous les minéraux de ce groupe peuvent être réunis sous la dénomination commune de

ZÉOLITES.

Les Zéolites — (du grec ξέω = bouillir et λίθος = pierre) — appartiennent à différents systèmes cristallins, mais elles se ressemblent beaucoup par leur aspect extérieur, leur dureté (3 à 6), leur poids spécifique (2 à 2 ½), et surtout par leur mode de formation et leurs gisements.

Elles se sont formées, en général, par la décomposition d'autres silicates (Feldspaths, Néphéline, etc.); on les trouve principalement dans les cavités amygdaloïdes et les vésicules des roches éruptives, surtout des roches récentes (Basaltes, Phonolithes, etc.) et dans les tufs de ces roches; elles se rencontrent aussi dans certains gîtes et filons métallifères et dans des Calcaires de contact. Leur composition chimique présente également des analogies : à l'exception de l'Apophyllite qui ne contient pas d'alumine, les Zéolites sont toutes des silicates hydratés aluminifères de sodium, de potassium, de calcium, de strontium ou de baryum ; les alcalis peuvent être remplacés par de l'hydrogène. Au Ch. elles se gonflent et fondent en bouillonnant (de là leur nom); l'acide chlorhydrique les décompose facilement avec dépôt de silice pulvérulente. Toutes les Zéolites donnent de l'eau dans le tube fermé; quelques-unes perdent déjà une partie de leur eau à l'air sec, sans qu'il soit nécessaire d'élever la température.

Nous ne décrirons que les espèces relativement fréquentes.

Thomsonite. — Rhombique; cristaux prismatiques trapus terminés aux

sommets par des prismes de profil très obtus; se présente parfois en agrégats sphéroïdaux à structure rayonnée (*Comptonite*). Clivage parfait suivant (100) et (010); D. = 5 à 5 ½; P.S. = 2,35. Incolore ou blanche. Optiquement +; P.A. ∥ (001); $B_a \perp (010)$; $n_\beta = 1,503$; $2E_a = 85°47'$ (rayons rouges). C. ch. : $2(Na_2,Ca)Al_2Si_2O_8.5H_2O$. Se trouve dans des cavités amygdaloïdes de roches éruptives (îles Féroë Kilpatrick en Ecosse, etc.)

NATROLITE. — Rhombique; $a : b : c = 0,9785 : 1 : 0,3536$. Formes communes $m = \{110\}$: $p = \{111\}$. Cristaux prismatiques allongés (fig. 722), quelquefois aciculaires ou capillaires. Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 88°45'$; $(111) : (1\bar{1}1) = 36°47'$; $(111) : (110) = 63°10'$. Se présente aussi en agrégats bacillaires ou fibro-radiés.

Clivage parfait suivant m; cassure conchoïdale; D. = 5 à 5 ½; P. S. = 2,2 à 2,5. Eclat vitreux; incolore ou blanche; parfois grisâtre, jaunâtre ou rougeâtre, translucide ou transparente. Optiquement +; P.A. ∥ (010); $B_a \perp (001)$; $n_\alpha = 1,475$; $n_\beta = 1,479$; $n_\gamma = 1,488$. $2V_a = 62°$.

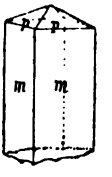


Fig. 722.

C. ch. : $Na_2(AlO)AlSi_2O_8.2H_2O$; fond sans se gonfler.

On trouve la N. dans les cavités amygdaloïdes des Basaltes et des Phonolithes : Aussig (Bohême), Puy de Marman (Auvergne), îles Féroë, Islande, etc.; dans la Syénite de Brevig (Norvège), elle se présente en grands cristaux et en agrégats bacillaires (*Brévicite*) comme produit de décomposition de la Sodalite.

A la Natrolite se rattachent les deux minéraux suivants: **Scolézite**, cristaux monocliniques mais ressemblant à ceux de la Natrolite. Clivage parfait suivant $\{110\}$; C.ch.: $Ca(Al.2OH)AlSi_2O_8.2H_2O$. On la trouve dans les mêmes conditions que la Natrolite, mais elle est beaucoup plus rare; elle se présente en beaux cristaux à Poonah (Indes Orientales). — **Mésolite**, monoclinique; forme des masses blanchâtres à structure rayonnée. C. ch.: $[Na_2(Al.O)AlSi_2O_8.2H_2O]_m.[Ca(Al.2OH)AlSi_2O_8.2H_2O]_n$; c'est donc un mélange isomorphe des silicates qui constituent la Natrolite et la Scolézite; ordinairement $m = 1$ et $n = 2$. Mêmes gisements que la Natrolite.

ANALCIME. — (Du grec ἄναλκις = sans force.) — Cubique; formes dominantes : $c = \{100\}$, $i = \{211\}$ (fig. 723); $i = \{211\}$ se présente souvent seul. L'A. se rencontre parfois en masses grenues, compactes ou terreuses. Cassure conchoïdale; D. = 5 à 5 ½; P. S. = 2,1 à 2,3. Eclat vitreux; incolore, blanche, blanc-grisâtre, jaunâtre ou rougeâtre; transparente ou translucide; offre des anomalies optiques qui disparaissent quand on la chauffe dans la vapeur d'eau; $n = 1,488$. C. ch. : $Na_2Al_2Si_4O_{12}.2H_2O$. Fond sans bouillonner en une perle limpide.

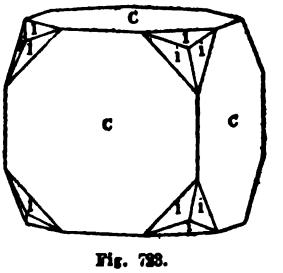


Fig. 723.

On trouve l'A. en beaux cristaux souvent limpides dans les amygdaloïdes des Basaltes et des Phonolithes (îles Cyclopes près de Catane, Montecchio-Maggiore dans le Vicentin, etc.); en grands cristaux ordinairement mats et d'un blanc rosé dans un Mélaphyre de la Seisser-Alpe et dans un tuf de l'orphyrite de la Vallée de Fassa (Tyrol). On l'observe aussi dans les fissures des Diabases et des Diorites (Bergen Hill dans le New Jersey) ainsi que dans certains filons métallifères (Andreasberg au Hartz) et dans des gîtes de Magnétite (Arendal en Norvège). Comme élément constitutif des roches elle se rencontre dans les Teschenites (Moravie, Ecosse).

APOPHYLLITE. — (Du grec ἀποφυλλίζειν = s'exfolier.) — Tétragonale; $a : c = 1 : 1,2515$. Formes dominantes : $a = \{100\}$, $c = \{001\}$, $p = \{111\}$, $n = \{120\}$. Cristaux tabulaires suivant c (fig. 724), prismatiques et trapus suivant a (fig. 725) ou suivant n, ou pyramidaux (fig. 726); quelquefois assez riches en facettes. Angles : $(111) : (1\bar{1}1) = 76°0'$; $(111) : (001) = 60°32'$. Les faces de a sont souvent striées verticalement. Se présente fréquemment en agrégats lamellaires. Clivage très parfait suivant

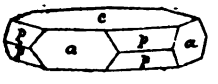


Fig. 724.

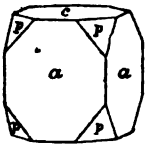


Fig. 725.

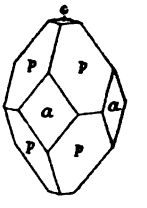


Fig. 726.

(001); moins parfait suivant $\{110\}$. D. = 4 à 5; P.S. = 2,3 à 2,4. Eclat vitreux, nacré sur c. Incolore, blanche, grisâtre; parfois rose ou rouge-chair; rarement jaunâtre ou verdâtre. Transparente ou translucide. Le plus souvent optiquement +; $n_\omega = 1,533$ à $1,535$; $n_\varepsilon = 1,535$ à $1,537$ (rayons jaunes). Présente très souvent des anomalies optiques.

C. ch. $H_7KCa_4(SiO_3)_8 . 4\,{}^1/_2\,H_2O$. Au Ch. s'exfolie (d'où son nom), se gonfle et fond facilement en un émail blanc; contient une petite quantité de fluor. Dans la nature l'A. se transforme parfois en Calcite (*Albine*).

On trouve l'A. dans les cavités amygdaloïdes des roches éruptives récentes, spécialement des Basaltes et des Phonolithes (Islande; îles Féroë; vallée de Fassa et Seisser-Alpe en Tyrol; Poonah dans les Indes Orientales, etc.); elle s'observe aussi dans des Calcaires métamorphiques (Cziclowa dans le Banat), dans des filons métallifères (Andreasberg) et dans des gîtes de Magnétite (Utö en Suède).

Faujasite. — Petits octaèdres très nets. D. = 5 à 6; P. S. = 1,92; éclat vitro-adamantin; brunâtre ou blanche; translucide ou transparente. C. ch. : $H_2(Na_2,Ca)Al_2(SiO_3)_5.9H_2O$. Se trouve à Sasbach (Kaiserstuhl) dans les vacuoles de la Limburgite.

HEULANDITE. — Monoclinique; $a : b : c = 0,4035 : 1 : 0,4295$; $\beta = 91°25'$. Formes dominantes $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $a = \{201\}$, $d = \{20\bar{1}\}$; fréquemment on observe aussi $z = \{110\}$, $u = \{11\bar{1}\}$. Cristaux ordinairement tabulaires suivant $b = \{010\}$. (fig. 727). Angles : $(110):1\bar{1}0) = 43°56'$; $(201):(001) = 63°40'$; $(\bar{2}01):(001) = 66°0'$. Macles suivant (001). Se présente parfois en masses lamellaires ou en agrégats sphéroïdaux.

Clivage parfait suivant b; cassure inégale; D. = 3 à 4; P.S. = 2,2. Eclat vitreux, nacré sur b. Incolore, blanche, grisâtre, rouge-chair ou rouge-brique; transparente ou translucide; optiquement +; P. A. ordinairement ⊥ (010) et presque ∥ (001); B_a ⊥ (010); $n_\beta = 1,499$; $2E_a = 0$ à 90°. Présente quelquefois des anomalies optiques.

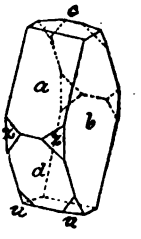


Fig. 727.

C. ch. : $H_4CaAl_2(SiO_5)_6 . 3H_2O$; renferme toujours une petite quantité de strontium remplaçant le calcium, ainsi que des traces de sodium et de potassium. Au Ch. se gonfle, s'exfolie et fond en un émail blanc.

La H. se trouve le plus souvent dans les vacuoles des Basaltes et des Mélaphyres (Archipel des Féroë, Kilpatrick en Ecosse, Islande, etc.); elle se rencontre aussi dans des filons métallifères (Andreasberg, Kongsberg et Arendal en Norvège); on trouve de grands cristaux colorés en rouge-brique par de la Gœthite dans les Monts Le-Palle (Vallée de Fassa), aux environs de Dumbarton (Ecosse), etc.

A la Heulandite se rattachent la **Brewstérite** $H_4(Ba,Sr)Al_2(SiO_5)_6 . 3H_2O$ et l'**Epistilbite** $H_6Ca_2Al_4(SiO_5)_{11} . 7H_2O$. Ces deux minéraux sont également monocliniques; le premier se rencontre dans des filons métallifères (Strontian en Ecosse, etc.), le second accompagne la Heulandite à laquelle il ressemble beaucoup.

Une famille intéressante de Zéolites est celle de la Desmine, de la Phillipsite et de l'Harmotome; ces minéraux sont monocliniques et isomorphes. Ils peuvent être considérés comme des mélanges isomorphes des deux silicates $I = CaAl_2Si_6O_{16} . 6H_2O$, et $II = Ca_2Al_4Si_4O_{16} . 6H_2O$ qui ont une constitution analogue à celle des deux silicates dont se composent les Feldspaths tricliniques. Ca peut être remplacé par Na_2, K_2 ou Ba; ce dernier élément domine même comme base dans l'Harmotome.

DESMINE. — (Du grec δέσμη = faisceau.) — Monoclinique; $a : b : c = 0,762 : 1 : 1,194$; $\beta = 129°11'$. Formes communes : $b = \{010\}$, $c = \{001\}$, $m = \{110\}$ (fig. 728); mais les cristaux sont toujours maclés par pénétration suivant (001) comme le montre la figure 729. Angles : $(110) : (1\bar{1}0) = 61°10'$; $(110) : (001) = 57°3'$. Très souvent aussi on observe des groupe-

ments de plusieurs cristaux en faisceaux ou en gerbes (de là le nom de l'espèce), et des agrégats sphéroïdaux à structure fibro-radiée.

Clivage parfait suivant (010), indistinct suivant (001); cassure inégale; D. = 3 à 4; P.S. = 2,1 à 2,2. Eclat vitreux, nacré sur (010). Incolore, blanche, blanc-grisâtre, jaunâtre, brunâtre ou rougeâtre; transparente ou translucide; optiquement —; P.A. ‖ (010); B. presque ‖ à l'axe de profil. $n_\beta = 1,498$; $2V_a = 33°$. C. ch. : silicate I, ne renfermant ordinairement qu'une très petite proportion du silicate II. 52 à 58 °/. SiO_2. Au Ch. se gonfle, s'exfolie et fond en un émail bulleux.

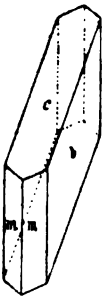


Fig. 728.

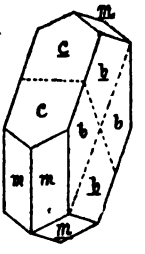


Fig. 729.

On trouve la D. dans les vacuoles des Basaltes, des Mélaphyres et d'autres roches volcaniques (Islande, archipel des Féroë, Kilpatrick (Ecosse), vallée de Fassa. Seisser-Alpe, etc.), on la rencontre aussi dans les fissures des Schistes cristallins (Bourg d'Oisans, St Gothard, etc.), dans les géodes du Granite (Striegau en Silésie) et dans des filons métallifères (Andreasberg au Hartz, Kongsberg en Norvège).

PHILLIPSITE. — Isomorphe avec la Desmine; $a:b:c = 0,709:1:1,256$; $\beta. = 124°23'$. Formes communes : $b=\{010\}$, $c=\{001\}$, $m=\{110\}$ fig. 728); mais les cristaux sont toujours maclés suivant différentes lois, et ces groupements, se compliquant de plus en plus, finissent par simuler des rhombododécaèdres. (Voir page 106 et figures 283 à 287). Angles : $(110):(1\bar{1}0) = 60°42'$; $(110):(001) = 60°50'$. La P. se présente aussi en agrégats sphéroïdaux à structure fibro-radiée.

Clivages distincts suivant (001) et (010); D. = 4 à 4 ½; P. S. = 2,2. Eclat vitreux; incolore, blanc-grisâtre, jaunâtre, rougeâtre ou bleuâtre; translucide ou opaque. Optiquement +. P.A. ⊥ (010); la B. est inclinée en avant et fait un angle de 4 ½ à 19° ½ avec la normale à (100). $n_\beta = 1,48$ à 1,57; $2V_a = 65$ à 81°.

C. ch. : Mélange des silicates I et II, mais très riche en potasse et en soude (43 à 52 °/. SiO_2; 3 à 11 °/. K_2O; 0,5 à 7 °/. Na_2O). Se gonfle peu en fondant.

La P. se trouve principalement dans les amygdaloïdes des Basaltes et d'autres roches éruptives récentes. Marbourg (Hesse); Sasbach (Kaiserstuhl); Salesl (Bohême); Capo di Bove près de Rome; Islande, etc.

HARMOTOME. — (Du grec ἁρμός = jointure et τομή = division.) — Isomorphe avec la Desmine; $a:b:c = 0,703:1:1,231$; $\beta = 124°50'$. Les

cristaux ressemblent à ceux de la Philipsite; les macles les plus fréquentes sont celles que représente la figure 285. Angles : (110) : (1$\bar{1}$0) = 59°59′ ; (110) : (001) = 60°21′.

Clivage distinct suivant (010), moins distinct suivant (001). D. = 4 à 5; P.S. = 2,45 à 2,5. Eclat vitreux. Incolore, blanche, jaunâtre, brunâtre ou rougeâtre. Translucide ou faiblement transparente. Optiquement +. P.A. ⊥ (010); B_a ⊥ (010); n_β = 1,50 à 1,52. $2V_a$ = 86° environ.

Ch. ch. : Mélange des silicates I et II, mais le calcium est presque entièrement remplacé par le baryum (45 à 47 °/₀ SiO_2; 13 à 21 °/₀ BaO). Fond difficilement, mais sans bouillonner, en une perle translucide.

L'H. se trouve dans les vacuoles de certains Mélaphyres (Aussig en Bohême, Dumbarton en Ecosse, etc.), et surtout en beaux cristaux dans des filons métallifères (Andreasberg au Hartz, Kongsberg en Norvège, Strontian en Ecosse, etc.).

CHABASIE. — (De χαβάσιος, nom grec de ce minéral.) — Rhomboédrique en apparence; $a : c = 1 : 1,086$. Formes pseudorhomboédriques : $r = \varkappa\{10\bar{1}1\}$, $g = \varkappa\{01\bar{1}2\}$; $s = \varkappa\{02\bar{2}1\}$, (fig. 730). L'ange (10$\bar{1}$1) : ($\bar{1}$101) = 85°14′, il est donc presque égal à 90° ce qui donne aux cristaux un aspect cubique. Macles très fréquentes, ayant pour plan de macle la

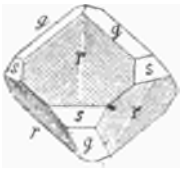


Fig 730.

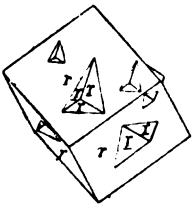


Fig. 731.

face (0001), mais les deux cristaux sont ordinairement de grandeur différente, de sorte que l'un des individus maclés n'apparaît que sous forme de coins trigonaux émergeant des faces de l'autre individu (fig. 731). Par suite du bombement des faces les cristaux présentent quelquefois un aspect plus ou moins lenticulaire (*Phacolite*). Il paraît qu'en réalité les cristaux sont constitués par l'assemblage de six individus tricliniques unis suivant les faces {110} et {011} et présentant à l'extérieur les faces {001} et {100}.

Clivage assez distinct suivant *r*; D. = 4 à 4 ½; P. S. = 2,1 à 2,2. Eclat vitreux; incolore, blanche, blanc-jaunâtre, rougeâtre ou rouge-chair; translucide ou transparente; en général optiquement —; indice moyen n = 1,50. Les anomalies optiques répondent à la constitution mimétique du minéral.

C. ch.: $(Ca,Na_2)Al_2Si_4O_{12}.6H_2O$; (44 à 54 °/₀ SiO_2). Au Ch. se gonfle, bouillonne et fond en un verre bulleux peu transparent.

La Ch. se trouve principalement dans les cavités amygdaloïdes des roches vulcaniques (Mélaphyres, Basaltes, Andésites, Phonolithes, etc.) : Oberstein (Principauté de Birkenfeld), Leipa (Bohême), Puy-de-Dôme (France), Portrush (Irlande), Kilpatrick et île de Skye (Ecosse), Islande, etc. On la rencontre aussi dans des géodes de certains Granites (Striegau en Silésie, etc.), dans les fissures des Schistes cristallins (Vallée de Fassa, et d'autres localités des Alpes) et dans des gites métallifères. — La *Gmelinite* est une Chabasie très riche en soude.

LAUMONTITE. — Monoclinique; $a:b:c = 1,082:1:0,589$; $\beta = 99°18'$. Formes communes {110}, {101}. Cristaux prismatiques suivant {110} réunis en druses. Angles : (110) : $(1\bar{1}0) = 93°44'$; (101) : (110) = 66°30'. Se présente aussi en agrégats bacillaires ou fibreux.

Clivage parfait suivant {110}; D. = 3 à 3 ½; P. S. = 2,3 à 2,4. Eclat vitreux, nacré sur les faces de clivage. Incolore, grisâtre, jaunâtre ou blanc-rougeâtre. Optiquement —; P.A. ‖ (010); $n_\beta = 1,524$. $2V_a = 30°$.

C. ch. : $Ca(Al.20H)_2(Si_2O_5)_2.2H_2O$ (50 % SiO_2). Au Ch. se gonfle et fond facilement en un émail blanc. A l'air elle perd souvent 1 à 2 % d'eau, blanchit et devient terreuse.

On trouve la L. dans les fissures de roches éruptives anciennes (Syénites, Porphyres quartzifères, Diorites, etc.) et dans les amygdaloïdes des roches volcaniques (Mélaphyres, Basaltes, etc.). Plauenscher Grund près de Dresde, Dillenbourg (Nassau), Dumbarton (Ecosse), New Jersey, Lac Supérieur, etc. Elle se présente aussi dans les filons des Schistes cristallins (Zillerthal en Tyrol, Ax dans le département de l'Ariège) et dans des filons métallifères (Huelgoat en Bretagne, Eule près de Prague, etc.).

A la suite des Zéolites qui sont des silicates hydratés cristallisés, se placent les

Silicates hydratés amorphes.

Ces minéraux sont peu répandus ; nous mentionnerons la **Gummite** $(Ba,Ca,Pb)SiU_3O_{12}.5H_2O$, amorphe, qui est un produit de décomposition de la Péchurane; l'**Uranophane** $CaSi_2U_2O_{11}.5H_2O$ qui se trouve dans un Granite à Kupferberg (Silésie), et l'**Allophane** amorphe, se présentant en rognons ou en masses mamelonnées et réniformes; D. = 3; P.S. = 1,8 à 2; éclat vitro-cireux; transparente ou translucide; incolore, jaune, brun-rouge, ordinairement colorée en bleu ou en vert par le cuivre. C. ch. : $Al_2SiO_5.5H_2O$. Au Ch. se gonfle mais ne fond pas; les acides la décomposent. L'A. se rencontre surtout comme remplissage de fissures et de cavités dans les gîtes de minerais de cuivre et de fer. Zuckmantel (Silésie); Gräfenthal près de Saalfeld; Firmy dans le Département de l'Aveyron, Woolwich (Angleterre), etc.

X• CLASSE. — COMBINAISONS ORGANIQUES.

La décomposition et les transformations chimiques des matières végétales et animales, peut être aussi l'action de l'eau sur des carbures métalliques, etc., produisent des combinaisons du carbone. On divise ces corps en 5 groupes : Sels des acides organiques, Hydrocarbures, Résines, Bitumes et Charbons.

Groupe A. — Sels des acides organiques.

Les minéraux appartenant à ce groupe sont les sels de l'acide mellitique ($H_6C_{12}O_{12}$), *de l'acide oxalique* ($H_2C_2O_4$), *etc.*

MELLITE. — (Du latin *mel* = miel.) — Tétragonale; $a : c = 1 : 0,7454$. Formes dominantes : $p = \{111\}$, $c = \{001\}$. Cristaux pyramidaux (fig. 732); Angle : $(111) : (11\bar{1}) = 86°55'$. Se présente aussi en agrégats grenus. D. = 2 à 2 ½; P.S. = 1,6. Eclat vitro-gras; jaune de miel ou jaune de cire; translucide; optiquement —; présente parfois des anomalies optiques.

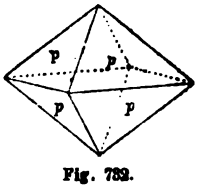


Fig. 732.

C. ch. : $Al_2C_{12}O_{12}.18H_2O$(43 ½ °/₀ $C_{12}O_9$). Au Ch. brûle en laissant un résidu d'alumine blanche.

La M. se rencontre dans le Lignite (Artern en Thuringe, Luschitz en Bohême) et dans la Houille (Walchow en Moravie, Molowka dans le Gouvernement de Tula).

L'**Oxalite**. — $2(FeC_2O_4).3H_2O$ se trouve en cristaux capillaires ou en masses à structure fibreuse, grenue ou terreuse, avec Gypse dans le Lignite de Luschitz (Bohême); la **Whewellite**, $CaC_2O_4.H_2O$ a été trouvée en grands cristaux monocliniques limpides, clivables suivant (001), dans les fissures de la Houille à Plauen près de Dresde.

Groupe B. — Hydrocarbures.

Les Hydrocarbures sont formés par les deux éléments carbone et hydrogène en combinaisons extrêmement variées.

OZOCÉRITE. — (Du grec ὄζω = sentir et κηρός = cire.) — Amorphe, parfois laminaire ou fibreuse; vert plus ou moins brunâtre en lumière réfléchie, jaune de miel ou rouge-hyacinthe par transparence; elle ressemble beaucoup à la cire d'abeilles; très molle, se laisse pétrir entre les doigts; P. S. = 0,94 à 0,97.

C. ch. : C_nH_{2n} (85,7 °/₀ C). Contient 32 à 50 °/₀ de paraffine ; fusible à 62°;

entièrement soluble dans l'essence de térébenthine et dans le naphte, mais difficilement soluble dans l'alcool ou l'éther; brûle avec une flamme éclairante sans laisser de cendres.

L'O. se trouve en masses considérables à Bòryslaw au pied des Carpathes dans des veines et des filons innombrables traversant des Schistes et des Grès tertiaires. On l'observe aussi dans un Grès bitumineux à Slanik (Moldavie); en grains dans des sables et des argiles à Tscheleken (Caucase); sous forme d'une couche continue intercalée entre des bancs de craie dans l'Utah (Etats-Unis), etc.

L'O. sert à la préparation de la paraffine, et de la cérésine qui se prête aux mêmes usages que la cire d'abeilles; on l'utilise encore pour la fabrication de bougies, etc. La Galicie fournit annuellement environ 16000 tonnes d'O. dont la valeur peut être évaluée à 8,000,000 de francs.

La **Hatchettine** est une Ozocérite très pure cristallisée en lamelles empilées. — La **Fichtelite**, $C_{18}H_{32}$, se présente en lamelles monocliniques fusibles à 45°, de couleur blanche; on la trouve sur des bois bitumineux dans la Tourbe de Redwitz (Bavière). — La **Hartite**, $C_{12}H_{20}$, se trouve à Oberdorf (Styrie) sous forme de cristaux probablement monocliniques; elle est blanche et ressemble à la paraffine. Fusible à 74°.

PÉTROLE. — Liquide plus ou moins visqueux, jaune ou brun, transparent ou translucide; il est très volatil et dégage une odeur aromatique. P.S. = 0,7 à 0,9. C. ch. : combinaison de carbone et d'hydrogène en diverses proportions. L'étude des P. américains a démontré que ce minéral renferme un grand nombre d'homologues de la série C_nH_{2n+2}, dont les termes les plus ordinaires vont du pentane C_5H_{12} au nonane C_9H_{20}; le P.S. de ces termes varie de 0,626 à 0,710 et leur point d'ébullition de 37 à 151°. Très inflammable, soluble dans l'éther et les huiles essentielles. Par distillation fractionnée on obtient le naphte jusqu'à 140°; l'huile à brûler passe de 140 à 270 ou 300°; le résidu est une sorte de goudron.

On attribue généralement la formation du P. à la décomposition d'organismes animaux ou végétaux, mais il semble plus probable qu'elle est due à l'action de l'eau sur les métaux carburés du noyau central (théorie de Mendéleeff) ou bien que les P. ont la même origine que les hydrocarbures dégagés par les volcans à la fin de leurs éruptions (théorie de Daubrée). On trouve le P. dans des roches sédimentaires d'âges divers, souvent associé à d'autres matières bitumineuses ou à des débris végétaux. Il sort des fissures des roches, des joints des couches ou du sol meuble; il est tantôt pur et tantôt mêlé d'eau.

On trouve le P. en Pensylvanie, au Canada, en Galicie, à Bakou et dans d'autres localités du littoral de la Caspienne, en Hanovre, dans le Brunswick, dans les Alpes (Tegernsee), à Bechelbronn (Alsace), etc.

La production annuelle du P. dans le monde entier peut être évaluée à 16 millions de tonnes dont 14 à 15 millions sont fournies par la Russie et les Etats-Unis; sa valeur à l'état brut tel qu'il est extrait du sol est en moyenne de 500 millions de francs.

Groupe C. — Résines.

Les minéraux de ce groupe renferment outre le carbone et l'hydrogène, de l'oxygène; ce sont des corps amorphes.

AMBRE. — Résine fossile provenant de sécrétions de pins de l'époque tertiaire (Pinites succinifer, etc.); il se présente en rognons, en masses roulées, en grains, etc.

Eclat cireux, jaune de miel, brun ou rouge-hyacinthe; transparent translucide ou opaque. Il s'électrise facilement par le frottement, propriété qui était déjà connue des anciens. D. = 2 à 2,5; P. S. = 1 à 1,11. C. ch. : $C_{10}H_{16}O$; fond à 287°; soluble dans l'alcool bouillant; brûle avec une flamme claire et fuligineuse en répandant une odeur agréable.

L'A. renferme souvent des insectes et des fragments de végétaux; on le trouve principalement sur les côtes de la Baltique; son gisement primitif est un sable glauconieux de 1m30 à 1m70 d'épaisseur, qui s'étend des bords de l'Elbe jusqu'à Cracovie. On le rencontre aussi sur la plage de Catane, près de Gianetta (Sicile) dans des Marnes tertiaires, etc.

L'A. est employé en bijouterie pour colliers, etc.; il sert à la fabrication de tuyaux de pipes, de certains vernis, etc. On en extrait plus de 400 tonnes par an.

Parmi les Résines plus rares nous citerons encore la **Krantzite**, Résine fossile jaune, brune ou noire qui se laisse couper au couteau. P.S. = 0,968. C. ch.: $C_{10}H_{16}O$; fusible à 224°. On la trouve dans les Lignites de Lattorf près de Nienburg. — **L'Idrialine**, blanche ou verdâtre lorsqu'elle est pure, mais presque toujours mélangée de Cinabre et présentant une couleur noirâtre. D. = 1 à 1,5; P.S. = 1,4 à 1,6. Sa C. ch. paraît être $C_{30}H_{56}O_2$; soluble à chaud dans l'acide sulfurique. On la trouve à Idria (Carinthie) au toit et au mur des gîtes de Cinabre; par son mélange intime avec le Cinabre elle constitue le *Quecksilberleberers*. — **Rétinite**, on désigne sous ce nom une série de Résines incomplètement connues.

Groupe D. — Bitumes.

Les Bitumes sont des carbures d'hydrogène contenant généralement un peu d'oxygène, d'azote et de soufre; ils se laissent décomposer en trois parties distinctes : 1° On obtient par distillation une huile incolore soluble dans l'éther (Pétrolène) *dont le* P. S. = 0,89. — *2° Le résidu de la distillation se dissout dans l'éther mais la solution se divise en deux parties quand on y ajoute de l'alcool : la partie surnageante, rouge sombre, est*

constituée par la solution alcoolique d'une résine et de paraffine; la partie la plus dense, complètement noire, est formée d'une sorte de poix (Asphaltène) *qui cristallise en écailles noires par dissolution dans le sulfure de carbone.*

ASPHALTE. — Ce corps forme en quelque sorte la transition entre les Résines et les Charbons bitumineux; on le trouve en imprégnations dans des Argiles, des Calcaires, etc., quelquefois aussi en masses noires à cassure écailleuse, à éclat gras, ayant l'aspect de la poix, dans des fentes et des poches de différentes roches. L'A. se compose de carbone, d'hydrogène et d'oxygène en proportions variables; il fond vers 100° et répand une odeur bitumineuse, il est partiellement soluble dans l'éther en donnant un résidu soluble dans la térébenthine. D. = 2; P. S. = 1,1 à 1,2.

L'A. s'est formé par l'oxydation du pétrole, ce qui explique son mode de gisement : il se présente en gites ou en nappes interstratifiés (Guaracaro et lac de la Braie dans l'île de Trinidad, Selenitza en Albanie, Kurdistan, etc.); en filons et en veines (Mer Morte, Ritchie dans la Virginie Orientale, La Havane, Bentheim en Hanovre); et en imprégnations, ces dernières s'observent surtout dans les terrains jurassiques, crétacés et tertiaires (Hanovre, Westphalie, Auvergne, Val Travers en Suisse, Sicile, etc.). On le trouve aussi dans des filons métallifères (Kongsberg en Norvège, etc.).

Le *Bitume de Judée* de la Mer Morte et l'*Albertite* de Hillsborough (Comté d'Albert dans le Nouveau Brunswick) ne sont que des variétés d'Asphalte.

L'A. sert à la préparation des vernis et du mastic asphaltique, à la construction des trottoirs et des chaussées dits en poudre comprimée, à la fabrication de briques bituminées, etc. La production annuelle totale dépasse 350,000 tonnes.

Groupe E. — Charbons.

Les substances désignées sous le nom de Charbons offrent les différents degrés des transformations chimiques des matières végétales fossiles. Ce processus se traduit par l'élimination graduelle de l'hydrogène et de l'oxygène, et l'accumulation du carbone, ainsi qu'il ressort du tableau suivant :

	Fibre ligneuse.	Tourbe.	Lignite.	Houille.	Anthracite.
C	51,4 à 52,6	50 à 58	55 à 75	74 à 96	plus de 90
O	43 à 42	35 à 28	26 à 19	20 à 3	3 à 0
H	6 à 5,5	7 à 5	6 à 3	5 à 0,5	3 à 0,5

Traités par un mélange d'acide nitrique fumant et de chlorate de potasse à la température de 100° environ les charbons s'oxydent complètement et forment une série d'acides colorés en brun.

TOURBE. — La T. est constituée par un agrégat de végétaux (Sphaignes, Bruyères, etc.) à structure plus ou moins compacte ou terreuse, selon que la minéralisation est plus ou moins avancée. P.S. = 1. Jaune, brune ou noire; donne, par distillation, de l'acide acétique et presque toujours de l'ammoniaque; brûle en laissant 2 à 14 °/₀ de cendres.

La T. se forme dans les régions basses et marécageuses ou sur les grands plateaux suffisamment humides et dont l'altitude n'est pas trop considérable. On la trouve sur de très grandes étendues en France, en Hollande, en Westphalie, en Hanovre, etc.

LIGNITE. — (Du latin *lignum* = bois.) — C'est une Houille imparfaite dans laquelle on peut reconnaître souvent encore la structure végétale. Sa texture est compacte, terreuse, fibreuse ou ligneuse; il est brun ou noir de poix à poussière brune. D. = 1 à 2; P.S. = 0,5 à 1,25. Le L. communique une teinte brun foncé à la potasse caustique en solution; il brûle facilement en répandant une odeur désagréable, et donne de l'acide acétique par distillation.

On trouve le L. principalement dans les dépôts tertiaires; il est très répandu en Allemagne, dans le nord de la Bohême, en Hongrie, dans les Alpes, dans le Soissonnais, etc.

Le *Jais* ou *Jayet* est une variété noir de poix à cassure conchoïdale. — La *Terre d'Ombre* ou *Terre de Cologne* est un L. brun clair terreux. — La *Pechkohle* est un L. compacte. Le *Dysodile* ou *Houille papyracée* est un L. en feuillets minces et flexibles, répandant en brûlant une odeur infecte.

Le L. est un combustible excellent; et quelques variétés peuvent servir à l'extraction de la paraffine et de l'alun. On utilise le Jais pour la bijouterie, et la Terre d'Ombre pour la préparation de couleurs brunes.

HOUILLE. — Masses amorphes à structure compacte, fibreuse ou terreuse, se divisant parfois en fragments parallélipipédiques. Cassure conchoïdale, inégale ou fibreuse. D. = 2 à 2 ½. P.S. = 1,2 à 1,5. Brun-noirâtre, noir de poix, noir de velours ou noir-grisâtre; éclat vitreux passant à l'éclat gras. Brûle facilement en dégageant une fumée noire et une odeur bitumineuse; ne colore pas la potasse caustique en solution. Suivant la teneur en matières volatiles, qui varie de 20 à 40 °/₀, on distingue les H. *anthraciteuses*, *demi-grasses*, *grasses*, *maigres*, *flambantes*, etc.

Les principaux gisements de H. sont situés en Angleterre près Newcastle; en Ecosse près Pairley; en Allemagne (Chemnitz, Zwickau, Dortmund, Sarrebrück, Aix-la-Chapelle); en France (Ste Etienne, Creuzot, Anzin, etc.); en Autriche (Schatzlar, Ostrau, Mies, Rossitz, Fünfkirchen, Steierdorf); en Russie sur le Don, etc. Des gisements énormes existent aux Etats-Unis dans la Pensylvanie, l'Illinois, le Michigan, etc.

La H. se rencontre en Belgique exclusivement dans le terrain carbonifère.

L'étage houiller y forme deux grands bassins : 1° le bassin oriental, nommé bassin de Liége ou de la Meuse, 2° le bassin occidental, appelé bassin de Mons ou de la Sambre, qui se subdivise en trois groupes d'exploitation comprenant le bassin de Charleroi, le bassin du Centre, et le bassin du Couchant de Mons.

ANTHRACITE. — (Du grec ἄνθραξ = charbon). — On désigne sous ce nom les charbons les plus riches en carbone; c'est peut-être une modificatio amorphe du Graphite. L'Anthracite se présente en masses amorphes à cassure écailleuse, se divisant souvent en baguettes; il est quelquefois terreux, il tache les doigts. Son éclat est vitreux, quelquefois métallique; il est souvent irisé à la surface. On constate dans les préparations microscopiques et les cendres d'A. la présence de cellules végétales. Ce corps est fragile; D. = 2 à 2 $^1/_2$. P. S. = 1,4 à 1,7. Sa couleur est analogue à celle de l'encre de Chine. Il laisse 1 à 7 °/₀ de cendres. Infusible au Ch., il brûle avec une flamme courte; dans le tube fermé il dégage un peu d'eau, mais pas d'huiles volatiles. Inattaquable par les acides, l'éther ou la potasse caustique.

On trouve l'A. dans les roches sédimentaires les plus anciennes et dans des Schistes cristallins. Il existe dans l'Etat de Rhode-Island, en Pensylvanie, en Styrie, en Moravie, dans les Alpes françaises et piémontaises.

LISTE ALPHABÉTIQUE

des minéraux qui ont été rencontrés en Belgique et de leurs principaux gisements[1].

A.

Agate. — Avin, Montignies-lez-Lens, Tirlemont et dans la *Meule de Bracquegnies*.

Albite. — Challes. Au microscope on constate dans toutes les roches feldspathiques du pays, des Plagioclases de la série de l'Albite.

Allophane. — Amay, Argenteau, Corphalie (Antheit), La Rochette (Chaudfontaine), Moresnet, Theux, Visé.

Alunogène. — Sur certains Phyllades cambriens et à Flémalle-Haute.

Ambre. — Anvers, Binche, Houdeng-Aimeries, Leval-Trahegnies, Wommelghem, Wommersom.

Anatase. — Grand-Manil, Opprebais, Nil St-Vincent.

Andalousite. — Libramont (*Chiastolite*), Ottré, Vielsalm.

Anglésite. — Corphalie, Theux.

Anthracite. — Anhée, Argenteau, Comblain-au-Pont, Comblain-la-Tour, Douxflamme, Ecaussines, Namur, Ocquier, Rhisnes, Scry, Theux, Védrin, Velaine, Vierset, Visé.

Apatite. — Vielsalm. En cristaux microscopiques dans presque toutes les roches feldspathiques du pays et dans un grand nombre de roches cambriennes, surtout dans les Phyllades.

Aragonite. — Angleur, Cheratte, Comblain-au-Pont, Fraiture, Gembloux, Henne (Chaudfontaine), Long-pré (Couthuin), Lovegnée (Ben-Ahin), Oteppe.

---

(1) Cette liste a été contrôlée avec soin; pourtant, n'ayant pu vérifier personnellement qu'une partie des minéraux qu'on y signale, nous ne pouvons garantir l'authenticité de tous les gisements cités.

Lorsqu'un minéral a été signalé dans plusieurs localités dépendant d'une même commune, nous nous bornons à citer le nom de la commune.

Nous indiquons brièvement quelques caractères principaux pour certaines espèces ou variétés qui, à notre connaissance, n'ont guère été signalées jusqu'ici qu'en Belgique, et qui à cause de leur rareté n'ont pas été décrites dans les pages précédentes.

Ardennite. — Ottré, Salm-Château.

Asbeste. — Challes, Hozémont, Lembecq, Quenast.

Augite. — Challes, Hozémont, Lessines, Mozet, Quenast.

Aurichalcite. — Flemalle-Haute.

Axinite. — Lessines, Quenast.

Azurite. — Bleyberg, Chanly, Dolembreux, Lembecq, Rouveroy, Vielsalm, Visé, etc.

B.

Barytine. — Angleur, Bleyberg, Bouffioulx, Chaudfontaine, Comblain-au-Pont, Engihoul, Fleurus, Glandglise, Hornu, Lambermont, Mazy, Olloy, Poulseur, Prayon, Rocheux, Rumelange, Vierves, Villers-en-Fagne, etc.

Bastonite. — *Biotite ferrifère décomposée; se presente en lamelles noires, verdâtres ou bronzées, clivables comme le Mica, mais moins élastiques.* D. = 2 à 3 : P. S. = 2.8. *Biréfringente. Au Ch. s'enfle, s'exfolie et fond en un globule magnétique; attaquable par l'acide chlorhydrique et par l'acide sulfurique concentré avec dépôt de silice gélatineuse. Donne la réaction du manganèse avec la soude et celle du fer avec le Borax.* — Bastogne, Bras, Libramont, Recogne.

Blende. — Ampsin, Andenne, Angleur, Barbençon, Barvaux, Bleyberg, Bois de Boussu, Bovesse, Corphalie, Emines, Engis, Flône, Landenne, Liége, Longwilly, Marche-les-Dames, Membach, Moresnet, Ougrée, Nouvelle-Montagne (Stembert), Philippeville, Poppelsberg, Prayon, Richelle, Rosart, Sasserotte, Sautour, Sclayn, Seilles, Solre-St-Géry, Theux, Thulin, Velaine, Vezin, Vierves, Villers-le-Gambon, Vodecée, Welkenraedt, etc.

Bornite. — Bierghes, Bleyberg, Challes, Chanly, Chaudfontaine, Lembecq, Lessines, Micheroux, Quenast, Richelle, Seraing, Vielsam, Villers-en-Fagne, Visé, etc.

C.

Calamine. — Ampsin, Andenne, Barbençon, Bleyberg, Corphalie, Dison, Engis, Flône, Landenne, Membach, Moresnet, Nouvelle-Montagne, Oneux, Sclayn, Solre-St-Géry, Vaux-sous-Olne, Vézin, Vodecée, Welkenraedt, etc.

Calcédoine. — Heverlé, Moresnet, Rixensart, Theux.

Calcite. — Angleur, Arquennes, Blaton, Chokier, Comblain, Corphalie, Ecaussines, Denée, Engis, Grâce-Berleur, Grand-Cour, Landelies, Marnefle, Moresnet, Rhisnes, Roly, Saint-Marc, Seilles, Tilff, Villers-en-Fagne, Visé, etc.

Carpholite. — Meuville (Rahier).

Cérussite — Angleur, Bleyberg, Cerfontaine, Corphalie, Engis, Lavoir, Longwilly, Membach, Moresnet, Roux, Sart-St-Eustache, Theux, Vedrin, Villers-en-Fagne, Welkenraedt.

Chalcolite. — Vielsalm.

Chalcopyrite. — Bierghes, Bleyberg, Challes, Chanly, Chaudfontaine, Lembecq, Lessines, Micheroux, Quenast, Richelle, Seraing, Vielsalm, Villers-en-Fagne, Visé, etc.

Chalcosine. — Rahier, Vielsalm.

Chlorite. — Bierghes, Bihain, Dongelberg, Houffalize, Jodoigne-Souveraine, Lembecq, Lessines, Louette, Marcq, Neufchâteau, Nil-St-Vincent, Quenast, Rienne, Serpont, Tubize, Vielsalm, Wanne, etc.

Chloritoïde. — Ottré, Vielsalm.

Chrysocolle. — Vielsalm (?)

Cinabre. — Dave, Rhisnes (?)

Corindon. — Salm-Château.

Cuivre natif. — Vielsalm (?)

Cuprite. — Engihoul.

D.

Damourite. — Vielsalm.

Davreuxite. — *Rhombique; offre les propriétés d'un Mica altéré; se présente en fibres très allongées ressemblant à l'Asbeste, transparentes; blanc-rosé. Clivable.* C. ch. $H_4Al_6(Mn,Mg)(SiO_4)_6$, *Perd de l'eau dans le tube fermé. Au Ch. donne les réactions du manganèse et de la silice. Infusible. Presque inattaquable par les acides.* — Ottré, Vielsalm.

Delvauxite. — *Masses compactes réniformes brunes à éclat résineux, faiblement translucides ou opaques,* D. = 3 à 4; P. S. = 1,85, *fragile, cassure conchoïdale.* C. ch. $Fe_4(OH)_6(PO_4)_2.17H_2O$. *Au Ch. perd beaucoup d'eau, décrépite, se délite et fond difficilement; donne les réactions du fer.* — Berneau, Engis, Houthem (Baelen), Hozémont, Huy, La Rochette, Marsinne (Couthuin), Theux. Dans les environs de Visé en pseudomorphose du Gypse.

Destinézite. — *Masses réniformes constituées par des cristaux microscopiques aplatis suivant* (010) *appartenant au système monoclinique. Eclat résineux ou vitreux; jaune ou brunâtre.* D. = 3; *cassure conchoïdale.* C. Ch. $Fe_4O(OH)_2(PO_4)_2(SO_4H)_2$ (?) *Présente une réaction acide énergique. Décomposée par les acides.* — Ampsin, Angleur, Argenteau, Berneau, Marsinne, Védrin, Visé.

Dewalquite. — Voir Ardennite.

Diadochite. — *Variété de Destinézite amorphe et altérée.* — Védrin.

Dialogite. — Chevron, Rahier, Salm-Château.

Dolomie. — Angleur, Bleyberg, Bossières, Couthuin, Denée, Engis, Forêt, Marneffe, Membach, Micheroux, Moresnet, Namèche, Prayon, Rhisnes, Sautour, tunnel de Trois-Ponts, Visé, etc.

E.

Epidote. — Bastogne, Challes, Lembecq, Lessines, Quenast, etc.

F.

Fluorine. — Argenteau, Ath, Ave, Awagne, Chokier, Comblain-au-Pont, Couvin, Denée, Doische, Ecaussinnes, Engihoul, Forêt, Forrière-N. D., Gimnée, Humain, Lives, Magnée, Mazée, Micheroux, Namèche, Namur, Pondrôme, Poulseur, Seilles, Theux, Visé, etc.

Fuchsite. — (*Mica chromifère*). — Vielsalm.

G.

Galène. — Ampsin, Andenne, Angleur, Awirs, Baelen, Barbençon, Ben-Ahin, Bilstain, Bleyberg, Chapelle-lez-Herlaimont, Corphalie, Dison, Dourbes, Engis, Fauvillers, Flône, Héron, Heure, Honnay, La Rochette, Lavoir, Lembecq, Lessines, Ligny, Longwilly, Maizeret, Marche-les-Dames, Masbourg, Mazée, Membach, Moha, Moresnet, Nil-St-Vincent, Olne, Pepinster, Philippeville, Quenast, Rosart, Richelle, Sasseratte, Sautour, Sclayn, Seilles, Solre-St-Géry, Stembert, Tellin, Theux, Vêdrin, Velaine, Vézin, Vierves, Villers-en-Fagnes, Vodecée, Welkenraedt, etc.

Glauconie. — Lonzée, et dans diverses roches crétacées, tertiaires, etc.

Goethite. — Anseremme, Boignée, Comblain-la-Tour, Ferrière, My, Sougné, Theux.

Goslarite. — Sur des tas de cendrées et de déchets d'usine à Prayon.

Greenockite. — Corphalie, Engis, Oneux.

Grenat (*Spessartine*). — Bastogne, Nives, Ourt, Recogne, Vielsalm.

Gypse. — Ampsin, Argenteau, Boom, Chokier, Corphalie, Engihoul, Engis, Gorsop-Leeuw, Gottignies, Grand-cour, Halanzy, Hénis, Hermalle-sous-Huy, Moresnet, Raikem, Rebecq-Rognon, Ste-Walburge, Theux, etc.

H.

Halloysite. — Angleur, Theux, Welkenraedt.

Halotrichite. — Loyable (Ampsin).

Hatchettine. — Charleroi, Chokier, Flémalle-Grande, Seraing, Strépy-Braquegnies.

Hopéite. — *Rhombique; cristaux incolores très allongés verticalement; les formes ordinaires sont* {100}, {010}, {101}, {111} *et* {121}; *facilement clivable suivant* (100). D. = 2 à 3; P. S. = 2,76 à 2,86. C. ch. : $Zn_3(PO_4)_2.4H_2O$. — Comern (Moresnet).

Hornblende. — Lembecq, Lessines, Quenast, et dans des roches métamorphiques de la zone de Paliseul.

I.

Ilménite. — Challes, Clabecq, Grand-Pré, Hozémont, Lembecq, Lessines, Ourt, Quenast, dans des Phyllades cambriens et dans des roches des environs de Bastogne.

K.

Kaolin. — Bastogne, Couvin, Grand-Manil, Le Piroy, Libramont, Lustin, Recogne, Serpont, Tubize, etc.

Koninckite. — *Rhombique; petits globules ou demi-sphères; les cristaux aciculaires sont incolores au microscope, leur signe d'allongement est négalif.* D. = 3 $^1/_2$; P. S. = 2,3. C. ch : $Fe_3(PO_4)_2.6H_2O$. — Richelle.

L.

Langite. — *Rhombique.* D. = 2 1/2; P. S. = 3,5. *Bleu-verdâtre.* C. ch. *sulfate basique de cuivre hydraté.* — Vielsalm.

Libéthénite. — Vielsalm.

Limonite. — Andenne, Aubange, Autelbas, Aywaille, Baelen, Beaufays, Bilstain, Bleid, Bovigny, Chenois, Chercq, Clémency, Comblain-au-Pont, Conneveau, Diest, Dolembreux, Dourbes, Engis, Ensival, Filot, Fleurus, Forêt, Fraire, Gaurain-Ramecroix, Groenendael, Halanzy, Hansomont, Hérenthals, Héverlé, Houffalize, Lanaeken, La Reid, La Rochette, Lichtaert, Ligny, Longeau, Marsinne, Messancy, Mettet, Mont, Moresnet, Morialmé, Musson, Namèche, Namur, Nismes, Onhaye, Pétigny, Rhisnes, Ruette, Saint-Aubin, Theux, Toernich, Tournai, Vaulx, Védrin, Westmeerbeek, Xhoris, Yve, etc.

Lithomarge. — Alvaux (Le Mazy), Chokier, Moresnet, Pepinster, Wanzin.

M.

Magnétite. — Court-St-Etienne, Paliseul, dans des Phyllades cambriens et dévoniens et dans quelques roches éruptives, comme celles de Grand-Pré, de Lessines, de Quenast, etc.

Malachite. — Agenteau, Bois d'Angre, Bleyberg, Chanly, Cheratte, Chokier, Halma, Henne, Lembecq, Lessines, Lierneux, Rouveroy, Theux, Tubize, Vierset-Barse, Vielsalm, Visé.

Manganite. — Andenne, Angleur, Fauvillers, Moresnet et dans le *Manganèse du Luxembourg; on a désigné sous ce nom, d'après Dumont, un mélange de Pyrolusite, de Manganite, de Psilomélane peut-être associée à de la Braunite, et contenant généralement une quantité de fer suffisante pour qu'il soit exploité comme minerai de ce dernier métal.*

Marcasite. — Angleur, Antoing, Bleyberg, Dolhain, Engis, Houtem-lez-Montzen, Lovegnée, Marneffe, Oneux, Philippeville, Sautour, Sougnez, Védrin, Villers-en-Fagne, Walcourt, Welkenraedt, etc.

Martite. — Frassem.

Mélaconise — Bleyberg, Vielsalm.

Mélantérite. — Associée à la Marcasite dans les gisements de cette dernière.

Millérite. — Micheroux.

Mispickel. — Court-St-Etienne, Enghien, Hevillers, La Rochette, Nil-St-Vincent, Vielsalm.

Molybdénite. — Quenast.

Monazite. — Nil-St-Vincent.

Muscovite. — Dans les Psammites du Condroz et diverses autres roches. — Chaudfontaine, Cheratte, Forêt, Lembecq, Lessines, Nil-St-Vincent, Quenast, etc.

O.

Oligiste. — Bihain, Bothey, Chaudfontaine, Clabecq, Colanhan, Couthuin, Flône, Fraipont, Frassem, Genappe, Graide, Houssoy, environs de Huy, Lembecq, Les Isnes, Lierneux, Momignies, Moresnet, Polleur, Porcheresse, Regnée, Ripain, Stihaux, Tubize, Verviers, Vezin, Vielsalm; en cristaux et en particules microscopiques dans des Phyllades cambriens, etc.

Oligoclase. — Lessines, Quenast.

Opale. — Binche, environs de Bruxelles, Montignies-lez-Lens, Nil-St-Vincent, Tirlemont et dans la *Meule de Bracquegnies.*

Or. — Petit-Thier.

Orpiment. — Court-St-Etienne.

Orthose. — Dans les Porphyroïdes du massif de Rocroy et dans les roches feldspathiques de Bierghes. Fauquez, Monstreux, Lessines, Quenast, Spa, etc. — *Adulaire,* Quenast.

Ottrélite. — Lierneux, Ottré, Serpont, Sevescourt, Vielsalm.

Ouralite. — Challes, Quenast.

P.

Pholérite. — Angleur, Bouillon, Couvin, Cul-des-Sarts, Horion, Liége, Ochamps, Ougrée, Quaregnon, Quenast, Ste-Cécile, St-Gilles-lez-Liége, Sart-Longchamps, Seilles, Vielsalm.

Phosphorite. — Alleur, Athus, Aubange, Baelen, Ciply, Cuesmes, Dampicourt, Folx-les-Caves, Fooz, Harnoncourt, Hyon, Lamorteau, Lantin, Liers, Mesvin, Micheroux, Nouvelles, Pry, Ramelot, Rocour, Spiennes, Voroux, Vottem, etc.

Phosphorochalcite. — Vielsalm.

Piémontite. — Quenast (?)

Prehnite. — Quenast.

Psilomélane. — Andenne, Arbrefontaine, Beaufays, Bihain, Lierneux, Theux. Thy, Vielsalm.

Pyrite. — Andenne, Auderlues, Angleur, Autreppe, Baelen, Bilstain, Bleyberg, Bossières, Champion, Charleroi, Chatelineau, Couthuin, Denée, Dison, Engis, Fumal, Herbeumont, Héron, Heure, Houffalize, Jemelle, Landenne, Lavoir, Lembecq, Lessines, Liége, Ligny, Lives, Lovegnée, Marche-les-Dames, Marneffe, Mazée, Neuville, Nil-St-Vincent, Ougrée, Philippeville, Quenast, Rodenem, St-Servais, St-Symphorien, Sautour, Seilles, Suarlée, Theux, Védrin, Velaine, Vezin, Vierves, Villers-en-Fagne, Visé, Vodecée, Welkenraedt, etc.

Pyrolusite. — Beaufays, Boignée, Ligny, Marchin, Membach, Sprimont.

Pyromorphite. — Angleur, Bilstain, Bleyberg, Engis, Flône, La Rochette, Longwilly, Moresnet, Prayon, Védrin, Velaine.

Pyrophyllite. — Bihain, Hébronval, Vielsalm.

Pyrrhotine. — Challes, Hozémont, Lembecq, Lessines, Lierneux, Quenast.

Q.

Quartz. — Andenne, Angleur, Argenteau, Ath, Bierghes, Blanmont, Bleyberg, Challes, Chastre, Cheratte, Chokier, Court-St-Etienne, Couthuin, Denée, Flémalle, Fleurus, Grâce-Berleur, Havelaage, Horion, La Bruyère, Landelies, La Rochette, Lens, Les Isnes, Liége, Ligny, Lisogne, Maffles, Marcinelle, Maredsous, Melen, Mont-St-Guibert, Moresnet, Nil-St-Vincent, Opprebais, Quenast, Rhisnes, Sarolay, Seilles, Theux, Tirlemont, Vielsalm, Visé, Völkerich, Wardin, Welkenraedt. etc.

R.

Réalgar. — Court St-Etienne.

Richellite. — *Amorphe, compacte ou stratoïde, jaune-crême ou iaune d'ocre clair.* D. = 2 à 3; P. S. = 2. C. ch. $Fe_5(PO_4)_3[Fe(OH,Fl)]_4(FeO)$. *Dégage de l'eau et de l'acide fluorhydrique dans le matras. Facilement fusible au Ch. soluble dans les acides.* — Richelle, Visé.

Rutile. — Amberloup, Nil-St-Vincent, Ottré, Salm-Château, et dans tous les Phyllades cambriens, siluriens et devoniens.

S.

Salmite. — *Chloritoïde manganésifère, se présente en masses irrégulières, à texture saccharoïde grossière, vert-grisâtre.* D. = 5 à 6; P.S. = 3,38. C. ch. : $H_2(FeMn)Al_2SiO_7$. *Peu fusible.* — Vielsalm.

Séricite. — Marcq et dans diverses Porphyroïdes. Elle constitue la masse fondamentale des Phyllades cambriens, siluriens et devoniens.

Sidérite. — Bioulx, Bleyberg, Bossières, Chaudfontaine, Cheratte, Engis, Flémalle-Haute, Herstal, Les Isnes, Lessines, Moresnet, Oneux, Quenast, etc.

Smithsonite. — Barbençon, Corphalie, Engis, Fossey, Hombourg, Huy, Membach, Moresnet, Philippeville, Solre-St-Géry, Stembert, Theux, Velaine, Welkenraedt, etc.

Soufre. — Andenne, Argenteau, Balâtre, Bonnines, Bouges, Chaudfontaine, Corphalie, Denée, Ecaussinnes, Engis, Haltinne, Liége, Loyable, Ougrée, Senzeilles, Soignies, Spontin, Spy, Védrin, Welkenraedt.

Stibine. — Dison.

T.

Tétraédrite. — Lembecq (?)

Thermonatrite. — Houillère du Bois-l'Evêque lez Liége.

Tourmaline. — Nil-St-Vincent, Quenast. Dans les Poudingues de Bousalle et de Burnot, en cristaux microscopiques dans les Phyllades cambriens, etc.

V.

Vivianite, — Angleur, Anvers.

W.

Wad. — Andrimont, Angleur, Comblain-la-Tour, Flémalle-Haute, Magnée, Moresnet, Sougnez, Welkenraedt.

Wavellite. — Angleur, Arbrefontaine, Baelen, Bihain, Bioulx, Le Menil, Vielsalm.

Willémite. — Angleur, Engis, Moresnet, Theux.

Z.

Zinconise.. — Bleyberg.

Zircon. — Nil-St-Vincent; et dans un grand nombre de Quartzites, de Grès et de Sables.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES ESPÈCES MINÉRALES.

A.

Acmite,
— *var. d'*Aegyrine.
Actinote, 330.
Adamine, 284.
Adulaire, 337.
Aegyrine, 327.
Aenigmatite, 332.
Agalmatolite, 318.
Agate, 227.
Agricolite, 304.
Aguilarite, 214.
Aigue marine, 334.
Aikinite, 220.
Akanthite, 214.
Alabandine, 207.
Alaskaïte, 218.
Albâtre calcaire, 251.
» gypseux, 273.
» oriental, 251.
Albertite, 356.
Albine, 348.
Albite, 342.
Alexandrite, 279.
Allemontite, 197.
Allophane, 352.
Almandine, 305.
Alstonite, 257.
Altaïte, 214.
Alunite, 268.
Aluns, 274.
Amalgame, 201.
Ambre, 355.
Amésite, 315.
Améthyste, 226.
» orientale, 234.
Amiante,
— *var. d'*Asbeste.
Amphiboles, 329.
Anabergite, 286.
Analcime, 347.
Anatase, 229.
Andalousite, 291.
Andésine, 343.
Andorrite, 218.
Anglésite, 267.
Anhydrite, 263.
Ankérite, 252.
Anomite, 309.
Anorthite, 343.
Anorthose, 338.
Anthophyllite, 329.
Anthracite, 358.
Antigorite, 315.
Antimoine, 197.
Apatite, 281.
Aplome, 305.
Apophyllite, 348.
Aragonite, 255.
Arcanite, 263.
Ardennite, 298.
Arfvedsonite, 332.
Argent, 200.
Argentopyrite, 217.
Argile, 318.
Argyrodite, 222.
Argyropyrite, 217.
Argyrose, 213.
Arite, 208.
Arkansite, 228.
Arsenic, 197.
Asenite, 223.
Asbeste amphibolique, 330.
» serpentineuse, 316.
Asbolane, 263.
Asphalte, 356.
Atacamite, 246.
Augite, 325.
Aurichalcite, 261.
Aventurine, 226.
Axinite, 307.
Azurite, 261.

B.

Babingtonite, 328.
Baddeleyite, 228.
Barnhardtite, 217.
Barsowite, 304.
Barytine, 264.
Barytocalcite, 259.
Barytocélestine, 266.
Bastite, 323.
Bastnäsite, 262.
Bastonite, 360.
Beauxite, 240.
Beegérite, 221.
Bertrandite, 297.
Béryl, 333.
Beryllonite, 281.

Berzélianite, 214.
Biebérite, 274.
Binnite, 218.
Biotite, 308.
Bischofite, 244.
Bismite, 223.
Bismuth, 197.
Bismuthine, 204.
Bitume de Judée, 356.
Bitumes, 355.
Black-band, 254.
Bleischweif, 213.
Blende, 206.
Bobierrite, 286.
Bois silicifié, 227.
Bol, 318.
Boracite, 275.
Borax, 279.
Bornite, 217.
Bort, 194.
Boulangérite, 218.
Bournonite, 219.
Brandisite, 312.
Braunite, 262.
Breithauptite, 208.
Breunnérite, 253.
Brévicite, 347.
Brewstérite, 349.
Brochantite, 268.
Bromargyrite, 243.
Bronzite, 323.
Brookite, 228.
Brucite, 241.
Bucklandite, 300.
Bunsenite, 233.
Bytownite, 343.

C.

Cacholong, 238.
Calamine, 290.
Calcédoine, 227.
Calciostrontianite, 258.
Calcite, 247.
Calomel, 244.
Campylite, 284.
Cancrinite, 319.
Candite, 276.
Carbonado, 194.
Carnallite, 244.
Carollite, 217.
Carpholite, 297.
Carton de montagne, 316.
Cassitérite, 231.
Céladonite, 312.
Célestine, 266.
Cérite, 301.
Cérussite, 258.
Ceylanite, 276.
Chabasic, 351.
Chalcolite, 288.
Chalcoménite, 262.
Chalcopyrite, 216.
Chalcosine, 214.
Chalcotrichite, 236.
Charbons, 356.
Chert, 227.
Chiastolithe, 291.
Childrénite, 288.
Chiolithe, 245.
Chlorites, 313.
Chloritoïde, 313.
Chlorocalcite, 244.
Chloropale,
— *var.* d'Opale.
Chlorophane, 244.
Chlorospinelle, 276.
Chondrodite, 297.
Christobalite, 228.
Chromite, 277.
Chrysobéril, 278.
Chrysocolle, 306.
Chrysolite orientale, 303.
Chrysoprase, 227.
Chrysotile, 315.
Cinabre, 215.
Citrine, 226.
Clausthalite, 214.
Clinochlore, 313.
Clinoclase, 285.
Clinohumite, 297.
Clinozoïsite, 300.
Clintonite, 312.
Clintonites, 312.
Cloanthite, 210.
Cobaltine, 209.
Coccolite, 327.
Colemanite, 280.
Colophonite, 301.
Coloradoïte, 215.
Comptonite, 347.
Copiapite, 274.
Coquimbite, 274.
Cordiérite, 320.
Corindon, 234.
Cornaline, 227.
Corundophilite, 315.
Cosalite, 218.
Cotunnite, 244.
Couseranite, 344.
Covelline, 215.
Cristal de roche, 226.
Crocidolite, 332.
Crocoïse, 268.
Cronstedtite, 315.
Cryolite, 245.
Cryophyllite, 310.
Cubane, 217.
Cuir de montagne, 316.
Cuivre, 199.
Cuprite, 236.
Cupromagnésite, 274.
Cuproscheelite, 269.
Cyanose, 273.
Cyprine, 301.

D.

Damourite.
Danalithe, 298.
Danburite, 304.
Datolithe, 295.
Davreuxite, 361.
Davyne, 319.
Delvauxite, 361.
Demantoïde, 305.
Descloizite, 284.
Desmine, 349.
Destinézite, 361.

Dewalquite,
— *syn. d'*Ardennite.
Deweylite,
— *syn. de* Gymnite.
Diaclasite, 323.
Diadochite, 361.
Diallage, 326.
Dialogite, 253.
Diamant, 193.
Diaphorite, 218.
Diaspore, 239.
Dillnite, 318.
Diopside, 324.
Dioptase, 306.
Dipyre, 344.
Disthène, 292.
Dolomie, 251.
Domeykite, 212.
Domingite, 218.
Douglasite, 245.
Dufrénoysite, 218.
Dyskrasite (Discrase), 212.
Dysodile, 357.

E.

Eau, 222.
Ecume de mer, 316
Egérane, 301.
Eleolite, 319.
Embolite, 243.
Emeraude, 334.
» orientale, 234.
Emeri, 234.
Emplectite, 218.
Enargite, 222.
Endlichite, 284.
Enstatite, 322.
Eosphorite, 288.
Epiboulangérite, 222.
Epididymite, 346.
Epidosite, 300.
Epidote, 298.
Epidote manganésifère, 300.
Epigénite, 222.
Epistilbite, 349.
Epsomite, 273.
Erythrine, 286.
Erythrosidérite, 245.
Erythrozincite, 208.
Etain, 198.
» de bois, 232.
Euclase, 295.
Eudidymite, 346.
Eukaïrite, 214.
Eulytine, 304.

F.

Fahlunite, 321.
Famatinite, 222.
Faserbaryt, 266.
Fassaïte, 326.
Faujasite, 348.
Fausse topaze, 226.
Fayalite, 308.
Feldspaths, 334.
Fer, 198.
» carbonaté lithoïde, 254.
» chromé, 277.
» de marais, 240.
» de prairie, 240.
» spéculaire, 236.
» titané,
— *syn. d'*Ilménite.
Ferberite, 270.
Fergusonite, 285.
Ferrobrucite, 241.
Fichtelite, 354.
Flos ferri, 256.
Fluellite, 244.
Fluocérite, 246.
Fluorine, 243.
Forstérite, 303.
Fowlérite, 328.
Frankeïte, 222.
Franklinite, 277.
Freieslebenite, 218.
Friséïte, 217.
Fuchsite, 361.

G.

Gadolinite, 295.
Gahnite, 276.
Galène, 212.
Galénobismutite, 218.
Garniérite, 317.
Gaylussite, 262.
Gearksutite, 246.
Gédrite, 329.
Gehlénite, 321.
Genthite, 317.
Géocronite, 221.
Gerhardtite, 247.
Gersdorffite, 210.
Geysérite, 238.
Gieseckite, 319.
Giobertite,
— *syn. de* Magnésite.
Glace, 222.
Glasérite, 263.
Glaubérite, 263.
Glaucodot, 212.
Glauconie, 311.
Glaucophane, 332.
Gmelinite, 352.
Gœthite, 239.
Goslarite, 273.
Graphite, 195.
Greenockite, 207.
Grenat, 304.
» de Bohême, 306.
Grossulaire, 305.
Grothite, 345.
Guanajuatite, 205.
Gummite, 352.
Gymnite, 316.
Gypse, 271.

H.

Halloysite, 318.
Harmotome, 350.
Hartite, 354.
Hatchettine, 354.
Hauerite, 208.

Hausmannite, 262.
Haüyne, 330.
Hedenbergite, 325.
Heliotrope,
— *var. de* Chrysoprase.
Heltophyllite, 279.
Helvine, 298.
Hématite,
— *syn. d'*Oligiste.
Hercynite, 278.
Herderite, 284.
Hessite, 214.
Hessonite, 305.
Heulandite, 349.
Hiddénite, 327.
Hiératite, 246.
Homilite, 295.
Hopéïte, 362.
Hornblende, 330.
Hörnesite, 286.
Hornstein, 227.
Hortonolite, 303.
Houille, 357.
» papyracée, 357.
Hübnérite, 270.
Humite, 297.
Hyancinthe, 231.
» de Compostelle, 226.
Hyalite, 238.
Hyalophane, 337.
Hyalosidérite, 303.
Hydrargillite, 238.
Hydrocérussite, 261.
Hydromagnésite, 262.
Hydrophane, 238.
Hydrozincite, 261.
Hypersthène, 323.

I.

Ialpaïte, 214.
Idocrase, 301.
Idrialine, 355.
Iglésiasite, 259.
Ilménite, 236.
Indigolite, 297.
Iodobromite, 243.
Iodyrite, 243.
Iridium, 198.
Iridosmine, 198.
Isérine, 236.

J.

Jacobsite, 278.
Jade,
— *syn. de* Jadéïte.
Jadéïte, 327.
Jais, 357.
Jamesonite, 218.
Jargon, 231.
Jarosite, 268.
Jaspe, 227.
» opale, 238.
Jayet, 357.
Jeffersonite, 325.
Jordanite, 221.

K.

Kaïnite, 274.
Kallilithe, 210.
Kaolin, 317.
Kéramohalite, 274.
Kérargyrite, 243.
Kermésite, 241.
Kieserite, 273.
Kilbrickénite, 221.
Klaprothite, 218.
Knebelite, 303.
Kobellite, 218.
Kohleneisenstein, 255.
Koninckite, 362.
Korynite, 210.
Krantzite, 355.
Kremersite, 245.
Kreunerite, 216.
Kryptohalite, 246.
Kylindrite, 222.

L.

Labrador, 343.
Lanarkite, 268.
Langite, 363.
Lanthanite, 262.
Lapis-Lazuli, 320.
Lasulite, 285.
Laumontite, 352.
Laurionite, 246.
Laurite, 210.
Lautarite, 247.
Lautite, 216.
Lawroncite, 244.
Lawsonite, 297.
Leadhillite, 274.
Leberkise, 211.
Lepidrocrocite, 239.
Lépidolite, 310.
Lépidomélane, 309.
Leptochlorites, 313.
Leucite, 333.
Leucoxène, 236.
Liebenérite, 319.
Liebethenite, 284.
Liège de montagne, 316.
Liévrite, 297.
Lignite, 357.
Limonite, 240.
Linarite, 268.
Linnéïte, 217.
Lithiophilite, 281.
Lithiophorite,
— *var. de* Psilomélane.
Lithomarge, 317.
Löllingite, 212.
Lorandite, 217.
Lumachelle, 251.
Lunnite,
— *syn. de* Phosphorochalcite.

M.

Macle, 291.
Magnésioferrite, 278.

Magnésite, 252.
Magnétite, 277.
Magnoferrite,
— *syn. de* Magnésioferrite.
Malachite, 260.
Malacolite, 325.
Mallardite, 274.
Manganite, 238.
Manganobrucite, 241.
Manganocalcite, 259.
Manganosite, 233.
Marbres, 251.
Marcasite, 210.
Margarite, 312.
Marialite, 344.
Marshite, 244.
Martite, 236.
Mascagnine, 263.
Massicot, 237.
Matlockite, 246.
Meïonite, 344.
Mélaconise, 237.
Mélanite, 305.
Mélantérite, 273.
Mélilite, 321.
Mélinose,
— *syn. de* Wulfénite.
Mellite, 353.
Menaccanite, 236.
Mendipite, 246.
Meneghinite, 221.
Menilite, 238.
Mercure, 201.
Méroxène, 308.
Mésolite, 347.
Métacinnabarite, 214.
Miargyrite, 217.
Micas, 307.
Micas proprement dits, 308.
Microcline, 337.
Milarite, 346.
Millerite, 207.
Mimétèse, 283.
Minerai des marais, 240.
Minium, 262.
Mirabilite, 271.
Mispickel, 211.
Mizzonite, 344.
Molybdénite, 205.
Molybdine, 223.
Molysite, 244.
Monazite, 281.
Monheimite, 253.
Monticellite, 303.
Morénosite, 273.
Mossite, 285.
Muscovite, 310.

N.

Nacrite, 317.
Nadorite, 279.
Nagyagite, 216.
Nantockite, 244.
Natrolite, 347.
Natron, 261.
Natrophilite, 281.
Naumannite, 214.
Néphéline, 318.
Néphrite, 330.
Neptunite, 346.
Nickéline, 207.
Niobite, 285.
Nitratine, 246.
Nitre, 247.
Nitrobarite, 247.
Nocérine, 246.
Nontronite, 318.
Noséane, 319.

O.

Ochrolite, 279.
Ocre jaune, 240.
» rouge, 236.
Odontolite, 283.
Œil de tigre, 226.
Oldhamite, 207.
Oligiste, 235.
Oligoclase, 342.
Oligonite, 255.
Olivénite, 284.
Olivine, 302.
Omphacite, 327.
Onofrite, 215.
Onyx, 227.
Opale, 237.
Or, 201.
Orangite, 232.
Orpiment, 203.
Orthite, 300.
Orthochlorites, 313.
Orthose, 335.
Ostéolite, 282.
Ottrélite, 313.
Ouralite,
— *var. d'*Hornblende.
Outremer, 320.
Ouwarowite, 305.
Oxalite, 353.
Ozocérite, 353.

P.

Pachnolithe, 245.
Pagodite, 318.
Palladium, 198.
Panabase, 220.
Pandermite, 280.
Paragonite, 311.
Pargasite, 331.
Parisite, 262.
Passauïte, 344.
Pearsite, 221.
Pechkohle, 357.
Péchurane, 270.
Pectolite, 328.
Pegmatolite, 337.
Penfieldite, 246.
Pennine, 314.
Pentlandite, 207.
Percylite, 246.
Périclase, 233.
Péricline,
— *voir* Albite.
Péridot,
— *syn. d'*Olivine.

Pérowskite, 321.
Pétalite, 346.
Pétrole, 354.
Phacolite, 351.
Pharmacolite, 287.
Pharmacosidérite, 287.
Phénacite, 303.
Phengite, 311.
Phillipsite, 350.
Phlogopite, 309.
Phœnicite, 268.
Pholérite,
— *var. de* Kaolin.
Phosgénite, 262.
Phosphorite, 282.
Phosphorochalcite, 284.
Phyllites cassantes,
— *syn. de* Clintonites.
Picotite, 278.
Picromérite, 274.
Piémontite, 300.
Pierre à fusil, 227.
» d'aimant, 278.
» de Bologne, 266.
» de lune, 337.
» des Amazones, 338.
» de soleil, 342.
» meulière, 227.
» ollaire, 316.
Pinnite, 321.
Pisanite, 274
Pistarite, 300.
Plagioclases, 339.
Plagionite, 218.
Plasma, 227.
Platine, 198.
Plattnérite, 233.
Pléonaste, 276.
Plomb, 199.
Polianite, 233.
Pollucite, 334.
Polyargyrite, 221.
Polybasite, 221.
Polydymite, 217.
Polyhalite, 274.
Powellite, 269.
Prehnite, 306.
Prochlorite, 314.
Prolectite, 297.
Prosopite, 245.
Proustite, 219.
Przibramite,
— *var. de* Gœthite.
Pseudobrookite, 304.
Pseudomalachite,
— *syn. de* Phosphorochalcite.
Pseudophite, 314.
Pseudotriplite, 281.
Psilomélane, 263.
Pycnite, 295.
Pyrargyrite, 218.
Pyrite, 208.
» crêtée, 211.
» magnétique,
— *syn. de* Pyrrhotine.
Pyrochroïte, 241.
Pyrolusite, 233.
Pyromorphite, 283.
Pyrope, 306.
Pyrophyllite, 318.
Pyrophysalite, 295.
Pyrostilpnite, 219.
Pyroxènes. 322.
Pyrrhotine, 207.

Q.

Quartz, 223.
Quecksilberlebererz, 355.

R.

Ralstonite, 246.
Rammelsbergite, 212.
Réalgar, 202.
Reinite, 269.
Résines, 355.
Rétinite, 355.
Rhaetizite, 293.
Rhodocrosite,
— *syn. de* Dialogite.
Rhodonite, 328.
Richellite, 365.
Riebeckite, 332.
Ripidolite, 314.
Röperite, 303.
Röttisite, 317.
Rubbellite, 297.
Rubicelle, 276.
Rubinglimmer, 239.
Rubis balais, 276.
» du Cap, 306.
» oriental, 234.
» spinelle, 276.
Rutile, 229.

S.

Safflorite, 212.
Sagénite, 230.
Salite, 325.
Salmiac, 242.
Salmite, 365.
Salpêtre, 247.
» du Chili,
— *syn. de* Nitratine.
Sammtblende, 239.
Sanguine,
— *syn. d'*Ocre rouge.
Sanidine, 337.
Saphir blanc, 234.
» oriental, 234.
Saponite, 317.
Sapphirine, 289.
Sarcolite, 345.
Sassoline, 238.
Saussurite, 301.
Scacchite, 244.
Scapolite, 344.
Schapbachite, 218.
Scheelite, 269.
Schefferite, 325.
Schirmerite, 218.
Schorlomite, 305.
Schwarzembergite, 246.
Schwatzite, 220.
Scoléroclase, 218.

Scolézite, 347.
Scorodite, 286.
Scorza, 300.
Sel Gemme, 242.
Sellaïte, 244.
Semi-opale, 238.
Sénarmontite, 223.
Séricite, 311.
Serpentine, 315.
Sidérite, 254.
Silex, 227.
Sillimanite, 292.
Skutterudite, 212.
Smaltine, 210.
Smithsonite, 253.
Sodalite, 319.
Soufre, 195.
Spath brunissant, 252.
» d'Islande, 251.
Sperkise, 211.
Sperrylithe, 210.
Spessartine, 305.
Sphaerocobaltite, 255.
Sphalérite,
— *syn. de* Blende.
Sphène, 345.
Sphérosidérite, 254.
Spinelle, 276.
Spodumène, 327.
Stangenspath, 265.
Stannine, 222.
Stassfurtite, 276.
Staurotide, 289.
Stéatite, 316.
Stéphanite, 221.
Sternbergite, 217.
Stibine, 204.
Stilbite,
— *syn. de* Desmine.
Stolzite, 269.
Strahlkies, 211.
Strengite, 287.
Stromeyerite, 214.
Strontianite, 257.
Struvite, 285.
Stychnodimite, 217.
Sylvanite, 215.
Sylvine, 241.
Symplésite, 286.

T.

Tachhydrite, 245.
Talc, 316.
Tantalite, 285.
Tapiolite, 285.
Tarnowitzite, 256.
Tellure, 196.
» graphique, 216.
Tellurine, 223.
Tennantite, 220.
Ténorite, 237.
Téphroïte, 303.
Terre à foulon, 318.
» de Cologne, 357.
» d'Ombre, 357.
» de pipe, 318.
» de Sienne, 240.
» verte, 312.
Tétradymite, 205.
Tétraédrite, 220.
Thénardite, 263.
Thermonatrite, 261.
Thomsonite, 346.
Thoneisenstein, 255.
Thorite, 232.
Thulite, 301.
Thuringite, 315.
Tiemannite, 215.
Tinkal,
— *syn. de* Borax.
Titanite, 345.
Titanomagnétite, 278.
Topaze, 293.
» orientale, 234.
Topazolithe, 305.
Tourbe, 357.
Tourmaline, 295.
Trémolite, 329.
Tridymite, 227.
Triphane,
— *syn. de* Spodumène.
Triphyline, 281.
Tripoli, 238.
Troïlite, 207.
Troostite, 304.
Turquoise, 287.
Tysonite, 244.

U.

Ulexite, 280.
Ullmannite, 210.
Uranite, 288.
Uranocircite, 288.
Uranophane, 332.
Uranospinite, 288.
Urao, 262.

V.

Valentinite, 223.
Vanadinite, 284.
Vauquelinite, 268.
Vermiculites, 309.
Vésuvienne, 302.
Vivianite, 285.
Voltzine, 241.

W.

Wad, 263.
Wagnérite, 284.
Wavellite, 287.
Wernérite, 345.
Whewellite, 353.
Willemite, 303.
Willyamite, 210.
Winklérite, 241.
Wisérine,
— *var. d'*Anatase.
Withérite, 257.
Wolfachite, 212.
Wolframine, 223.
Wolframite, 270.
Wolfsbergite, 218.
Wollastonite, 328.
Wulfénite, 268.
Wurtzite, 208.

X.

Xanthaconite, 219.
Xanthophyllite, 312.
Xanthosidérite, 241.
Xénotime, 281.
Xylotile,
— *var. de* Serpentine.

Y.

Yttrocérite, 246.
Yttrotitanite, 346.

Z.

Zaratite, 262.
Zéolittes, 346.
Zeunérite, 288.
Zincite, 233.
Zinckénite, 217.
Zinnwaldite, 309.
Zircon, 230.
Zoïsite, 300.

101

EN VENTE CHEZ LE MÊME ÉDITEUR :

Bergmans. Compléments d'Arithmétique et d'Algèbre. In-8° autogr. 5 00

Dauge. Leçons de Méthodologie mathématique. 12 00

De Schietere. Cours de topographie, rédigé conformément aux programmes des examens pour l'infanterie et la cavalerie. 1 vol. et atl. 3 00

Fredericq et **Nuel**. Éléments de Physiologie humaine. 4e éd. In-8°. 12 50

Mansion. Éléments de la théorie des Déterminants. In 8° . . . 3 00

— Introduction à la théorie des Déterminants. In-8°. 1 00

— Résumé du Cours d'Analyse infinitésimale. In-8° 10 00

Schoentjes. Cours de Physique expérimentale. In-8°, 2 vol. . . 16 00

— L'Électricité et ses applications. 2e éd. In-8°. 7 50

— Leçons pratiques sur l'Électricité. P. in-8°. Toile 3 00

Swarts, Th. Notions élémentaires d'Analyse chimique qualitative. 3e éd. P. in-8° 2 00

— **Fréd.** Manipulations chimiques. P. in-8°. 2 75

Vande Vyver. Exercices pratiques de Physique. P. in-8°. . . . 2 25

Von Winiwarter. Traité de Médecine opératoire. Trad. Polis. In-8° 15 00